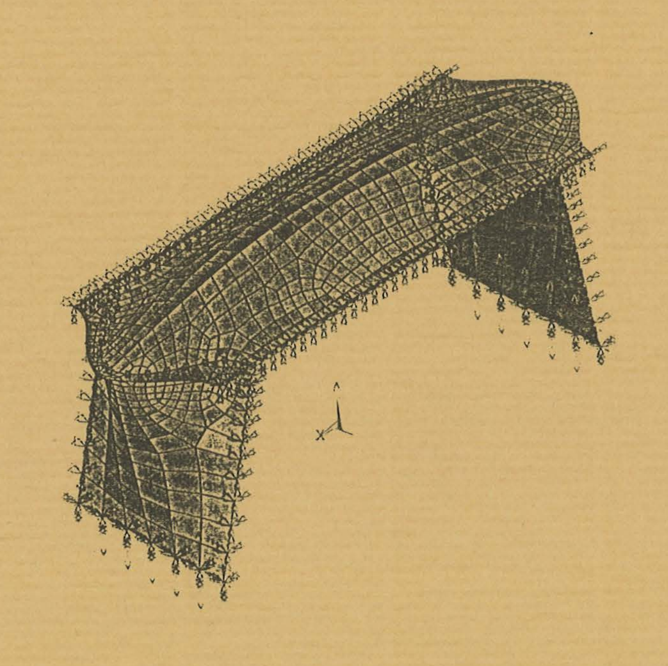
MÉTODOS AVANZADOS DE ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS (y II)

EJEMPLOS PRÁCTICOS CON *ANSYS*

por

Mª BELÉN ORTA RIAL

JUAN RODRÍGUEZ DE RIVAS AGUIRRE



CUADERNOS
DEL INSTITUTO
JUAN DE HERRERA
DE LA *ESCUELA DE ARQUITECTURA DE MADRID*

MÉTODOS AVANZADOS DE ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS (y II)

EJEMPLOS PRÁCTICOS CON *ANSYS*

por

Mª BELÉN ORTA RIAL

JUAN RODRÍGUEZ DE RIVAS AGUIRRE

CUADERNOS
DEL INSTITUTO
JUAN DE HERRERA
DE LA *ESCUELA DE ARQUITECTURA DE MADRID*

Métodos avanzados de análisis de estructuras (II)

Instituto Juan de Herrera.
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
Composición y maquetación: Daniel Álvarez Morcillo.
CUADERNO 66.01
ISBN: 84-95365-09-X (obra completa)
ISBN: 84-95365-11-1 (Métodos avanzados II)
Depósito Legal: M-41232-1999

CONTENIDO

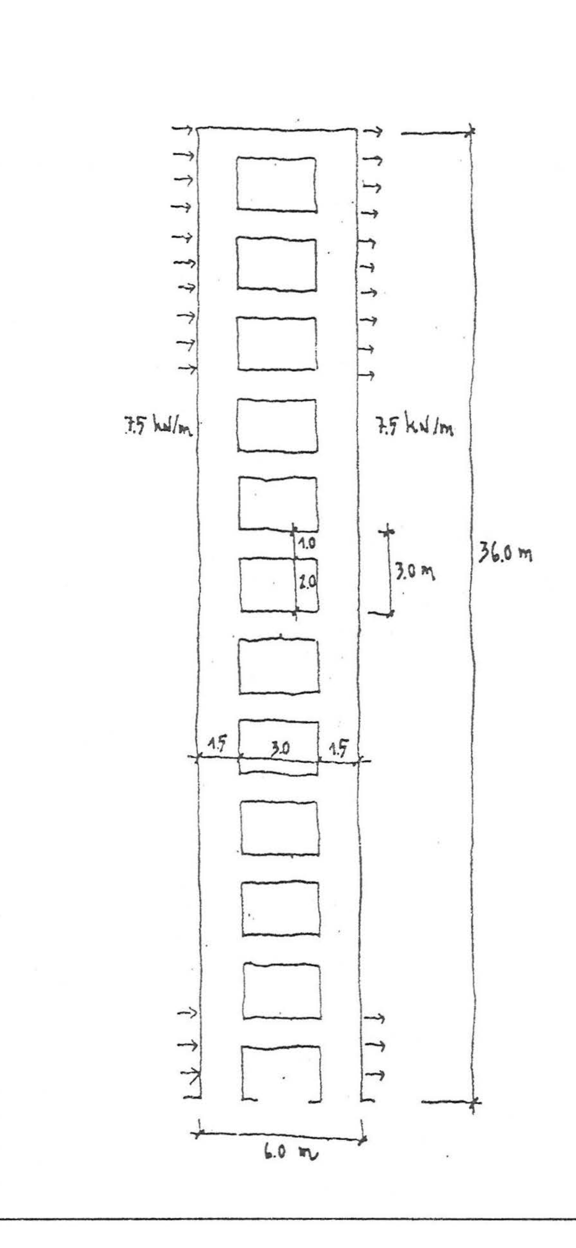
(Vol. I)

INTRODUCCIÓN:

PRACTICAS:

(Vol. II)

PRACTICAS:




```
!PREPROCESADO, ENTRADA DE DATOS
prep7
window,1,full    ! define el numero y tamaño de las
                 ! ventanas gráficas
view,1,0,0,9
vup,1,y          ! especifica la orientación de los ejes globales
                 ! eje Y vertical
title,MURO PANTALLA

!TIPO DE ELEMENTO
et,1,42          ! elemento tipo plane42
                 ! elemento plano con 4 nodos
keyopt,1,3,3     ! sección tipo 1, opción 3, valor 3
                 ! keyopt3=3 tensiones planas
r,1,250          ! espesor del elemento [mm],
                 ! valor requerido si keyopt3=3

!MATERIAL hormigón
mp,ex,1,20       ! modulo de elasticidad [kN/mm2] material 1
mp,nuxy,1,.1     ! coef. de poisson material 1
mp,dens,1,0      ! densidad: no considera el peso propio

!NODOS
n,1,0,36000,0    ! coordenadas del nodo 1 en (0,36000,0)
ngen,9,1,1,1,1,750,0,0        ! generación de nodos
ngen,37,9,1,9,1,0,-1000,0

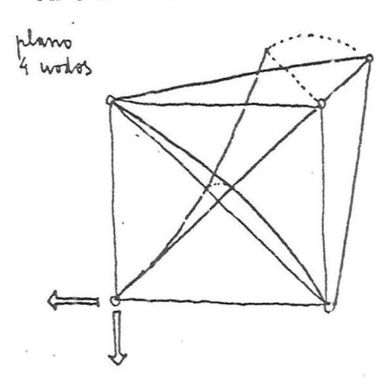
!ELEMENTOS
type,1           ! asigna el tipo 1 a los siguientes elementos
real,1
e,10,11,2,1      ! define el elemento entre los nodos
                 ! 10, 11, 2, y 1
egen,8,1,1,1,1   ! generación de elementos
egen,3,9,1,2,1
egen,3,9,7,8,1
egen,12,27,1,16,1

!CONDICIONES DE APOYO
nsel,s,loc,y,0
d,all,ux,0
d,all,uy,0
nsel,all

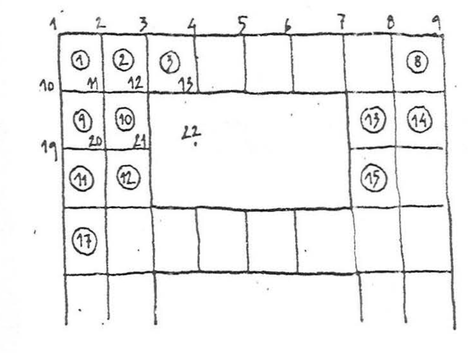
!CARGAS
nsel,s,loc,x,0   ! selecciona el subconjunto (s) de nodos
                 ! con coordenada local x=0
f,all,fx,7.5     ! aplica cargas puntuales en (all) todos los nodos
                 ! seleccionados en el sentido del eje X
                 ! de valor 7.5 [kN]
nsel,all
nsel,s,loc,x,6000
f,all,fx,7.5
nsel,all

!SALVAR Y SALIR
save
finish           ! salir del preprocesador
```

TIPO DE ELEMENTO



PARTICIÓN Y NUMERACIÓN



```
!PROCESADOR DE SOLUCIÓN
solution
antype, static    ! indica que el tipo de análisis es estático
solve             ! ordena resolver el sistema
finish            ! salir del procesador

!POSTPROCESADOR
!SALIDA E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS
post1
etable,sx,s,x     ! prepara la tabla denominada sx,
                  ! con los valores de los esfuerzos s componente x
etable,sy,s,y     ! ídem, componente y
etable,sxy,s,xy   ! ídem componente xy
set,1,1           ! lee datos de resultados del paso de carga 1

!DIBUJAR
pldisp,2          ! muestra la estructura deformada
                  ! con la estructura original de base (2)
pletab,sx,avg     ! gráfica de los datos de la tabla sx,
                  ! (avg): tomando en el interior del elemento un
                  ! valor como promedio lineal
pletab,sy,avg     ! ídem tabla sy
pletab,sxy,avg    ! ídem tabla sxy
plvect,pdir       ! gráfica de resultados del elemento como vector
                  ! (pdir): tensiones en direcciones principales
plvect,disp       ! gráfica de los desplazamientos de los nodos
                  ! como vector

!IMPRIMIR
pretab,sx,sy,sxy    ! imprime los datos de las tablas sx, sy,
                    ! sxy [N mm]
prrsol,f          ! imprime las reacciones en los nudos, (f) fuerzas
presol,f          ! imprime los esfuerzos de los elementos
                  ! (f): fuerzas en el sentido de los ejes X, Y, Z
finish            ! salir del postprocesador
```

δ

δ = 52 mm

5mm

PTO INFLEXIÓN

DEFORMACIÓN

TENSIÓN MÁXIMA σ_y

σ_{max}= 8N/mm²

CORTADURA MÁXIMA τ

τ_{max}= 1.1N/mm²

se produce en los dinteles de los niveles 1 y 2

zona 1

zona 2

σ_{max} X σ_{max}

τ_{max}

FUERZAS NODALES EN ZONA 1

63, 8, 5, 16, 29, 30, 13, 1, 31, 39, 31, 2, 28, 1, 31, 32, 9, 10, 38, 20

Agrupamos las fuerzas nodales de las secciones en las zonas 1 y 2 en una resultante

ZONA 1

59 — 1.75m

59 — 1.14m

59 — 0.15m

ZONA 2

1689 — 0.80m

1689 — 0.66m

1689 — 0.51m

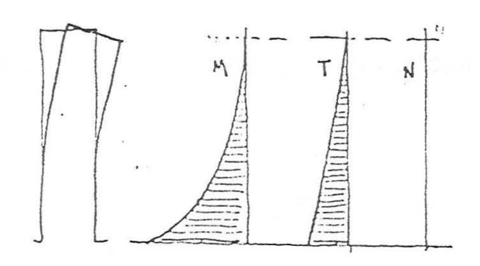
Con estos esfuerzos podemos tener una idea en relacion a los modelos a, b y c.

CONJETURAS:

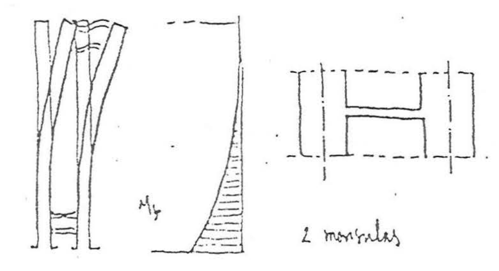
TRES MODELOS DE COMPRESIÓN

MOMENTOS EN LOS SOPORTES

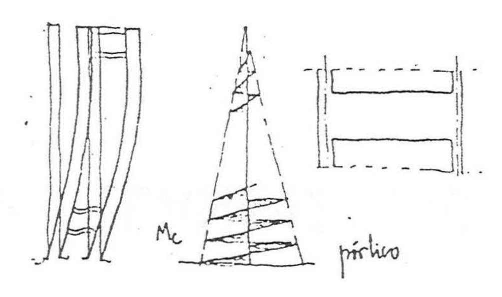
a) sin huecos



b) dinteles poco rígidos: dos mensulas



c) pilares esbeltos y dinteles rígidos

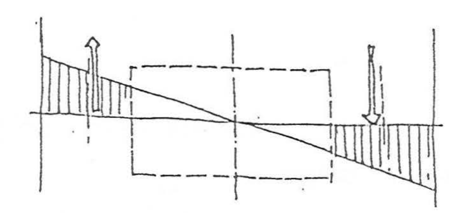


TENSIONES

$$M_{max} = \frac{15\,kN/m \cdot 36^2 m^2}{2} = 9720\,kN.m$$

$Ma = 9720$ kN·m

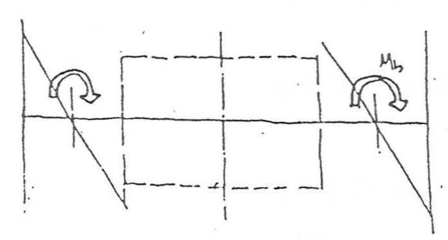
$$\sigma = \frac{9720 kN.m}{6000^2 \cdot 0{,}25/6\,mm^3 m} = 6{,}5\,N/mm^2$$



$Mb = 1/2\,Ma$

$$Wb = \frac{15^2}{6^2} Wa = \frac{1}{16} Wa$$

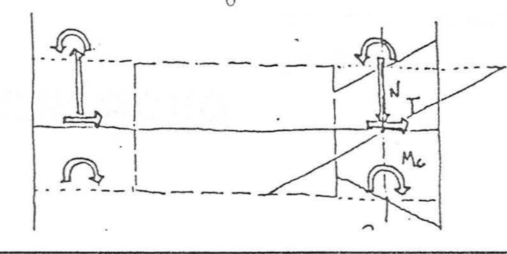
$\sigma_b = 8 \cdot \sigma_a = 8 \cdot 6{,}5 = 52\,N/mm^2$

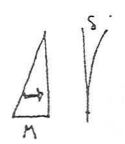


$$N = \frac{9720}{45} = 2160\,kN$$

$T = 15\,kN/m \cdot 36/2 = 270\,kN$ $Mc = 270$ kN.m

$$\sigma = \frac{2160}{1500 \cdot 0{,}25} + \frac{540}{2 \cdot \frac{1500^2 \cdot 0{,}25}{6}} = 5{,}7 + 5{,}8 = 11{,}5\,N/mm^2$$





DEFORMACIÓN

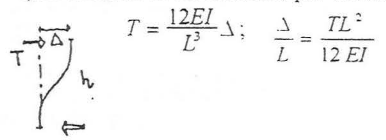
$$a)\quad \delta = \frac{\frac{1}{2} ML \cdot \frac{2}{3} L}{EI} = \frac{\frac{1}{2} 9720\,kN.m \cdot \frac{2}{3} 36^2 m^2}{20kN/mm^2 \frac{6^3 m^3 250mm}{12}} = 46\,mm$$

b) Como 2 ménsulas la deformación será 16 veces la anterior

δ=736mm

c) Estimamos la deformación por cortante

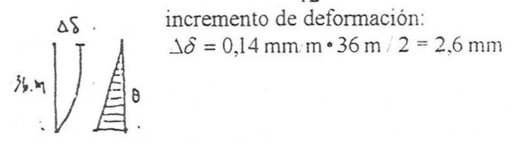
$$T = \frac{12EI}{L^3}\Delta; \quad \frac{\Delta}{L} = \frac{TL^2}{12\,EI}$$



$$\frac{\Delta}{L} = \frac{540/2\,kN \cdot 3^2\,m^2}{12 \cdot 20\,kN/mm^2 \frac{15^3\,m^3 250}{12}\,mm^4} = 0{,}14\,mm/m$$

incremento de deformación:

$\Delta\delta = 0{,}14\,mm/m \cdot 36\,m / 2 = 2{,}6\,mm$



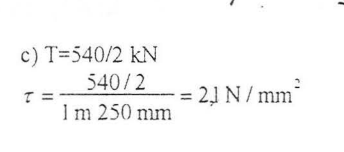
CORTADURA

$$b)\quad \theta = \frac{9720\,kN.m \cdot 36\,m/2/3}{E \frac{1{,}5^3 \cdot 250}{12}\,mm} = \frac{829}{E}\,kN/m.mm$$

$$T = \frac{12EI}{L^2}\theta = \frac{12 \cdot E \cdot 250mm/12m^3}{6^2 m^2} \frac{829}{E} kN/m.mm \approx 5667kN$$

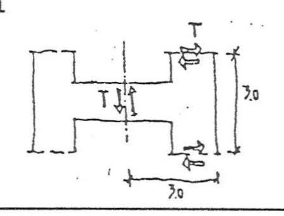
$\tau = 5667$ kN/ 1m 250 mm = 23 N/mm²





c) T=540/2 kN

$$\tau = \frac{540/2}{1\,m\,250\,mm} = 2{,}1\,N/mm^2$$



4.42 PLANE42 2-D Structural Solid

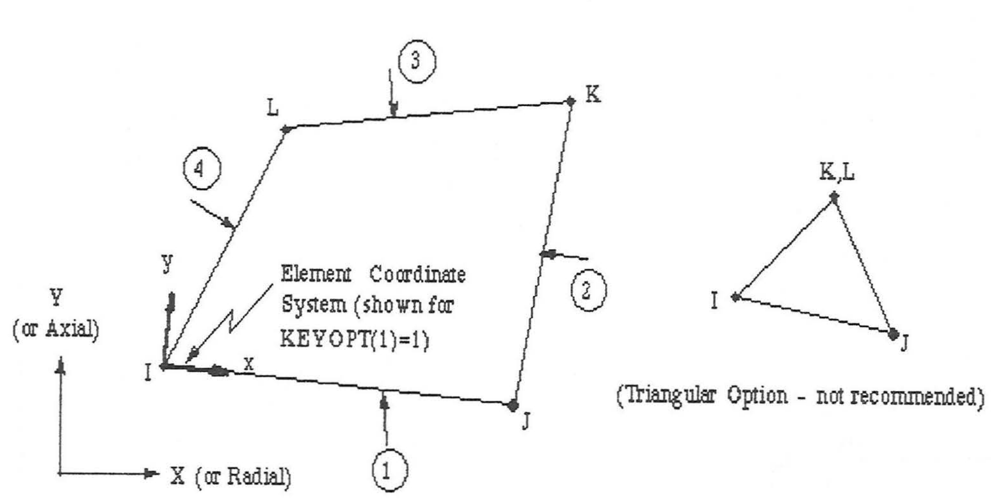


Figure 4.42-1 PLANE42 2-D Structural Solid

Table 4.42-1 PLANE42 Input Summary

Element Name	PLANE42
Nodes	I, J, K, L
Degrees of Freedom	UX, UY
Real Constants	None, if KEYOPT(3) = 0, 1, 2 Thickness, if KEYOPT(3) = 3
Material Properties	EX, EY, EZ, (PRXY, PRYZ, PRXZ or NUXY, NUYZ, NUXZ), ALPX, ALPY,ALPZ, DENS, GXY, DAMP
Surface Loads	Pressures: face 1 (J-I), face 2 (K-J), face 3 (L-K), face 4 (I-L)
Body Loads	Temperatures: T(I), T(J), T(K), T(L) Fluences: FL(I), FL(J), FL(K), FL(L)
Special Features	Plasticity, Creep, Swelling, Stress stiffening, Large deflection, Large strain, Birth and death, Adaptive descent

PLANTA

NUMERACIÓN

TIPO DE ELEMENTO
SHELL63

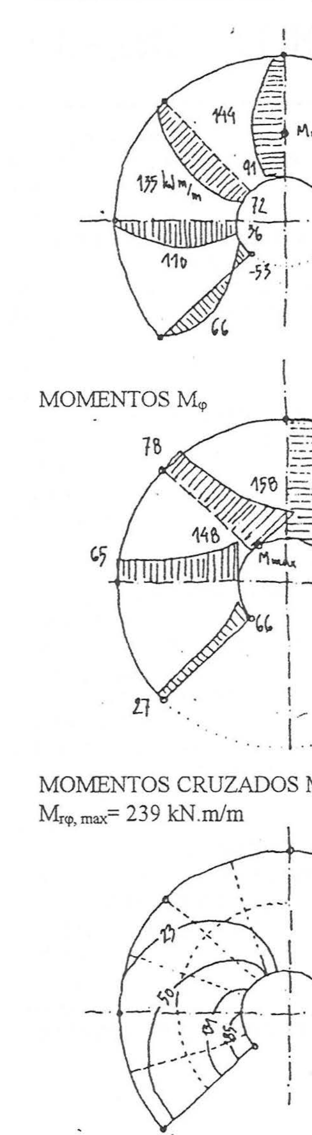
```
!PREPROCESADO, ENTRADA DE DATOS
/prep7
/view,1,2,3,5
/vup,1,z
/title,LOSA ANFITEATRO
  !TIPO DE ELEMENTO
et,1,63         ! elemento tipo shell63. Comportamiento de membrana
                ! y de flexión con 4 nodos
r,1,450         ! espesor [mm]
  ! MATERIAL
                ! asimilacion a hormigon armado de cuantia alta
mp,ex,1,21  ! [kN/mm^2]
mp,nuxy,1,.1
mp,dens,1,8e-9  ! [kN/mm^3]
  ! GEOMETRIA
csys,1          ! activa el sistema de coordenadas cilindricas (1)
  !puntos clave
k,1,4000,45 ! punto clave numero 1 de coordenadas cilindricas
            ! (R=4000, Angulo=45) [mm]
k,2,15000,45
k,3,15000,-90
k,4,4000,-90
  !lineas
l,1,2,6         ! define una línea entre los puntos clave 1 y 2
                !dividiéndola en 6 partes; esta será la línea 1
l,2,3,12
l,3,4,6
l,4,1,12
lplot           ! dibuja las lineas definidas
al,1,2,3,4      ! define un area delimitada por las lineas 1, 2, 3 y 4
                ! sera el area 1
  ! GENERACION DE NODOS Y ELEMENTOS
type,1
real,1
amesh,1         ! genera elementos superficiales con sus nodos
        ! en el area 1,
                ! asignando el elemento seleccionado
/pnum,elem,1 ! activa la numeracion de elementos
/pnum,node,1    ! activca la numeracion de nodos
eplot           ! dibuja los elementos

  ! Condiciones de apoyo
/pbc,all,1          ! muestra los simbolos de coacciones
nsel,s,loc,x,15000
d,all,uz,0          ! apoyo continuo en el contorno
nsel,all
d,1,uz,0
nsel,s,loc,y,-90
d,all,ux,0          ! se impide movimientos horizontales (x)
d,all,roty,0        ! y giros por simetria
!dsym,symm,x  !también se puede decir esta orden en vez de
          !las dos anteriores (plano de simetria perpendicular al eje x)
d,8,uy,0            !impide mov. Horiz. Eje y
nsel,all
  !CARGAS
          ! losa aligerada 8e-9kN/mm^3 * 450mm =  3.6e-6kN/mm^2
          ! sobrecarga                              4e-6 kN/mm^2
          !                                    ------------------
          !                                       7.6e-6kN/mm^2
          !                               o bien 2.11*peso propio
acel,0,0,2.11     ! asigna una aceleracion 2.11 en el eje Z
!sfe,all,1,pres,,7.6e-6 !otra forma de introducir la carga
          ! carga lineal                        15.2e-3kN/mm
nsel,s,loc,x,4000     ! selecciona los nodos de radio = 4000mm
                      ! los del perimetro interior
f,all,fz,-11.94       ! aplica una carga puntual en el sentido del
                      ! eje Z en cada uno de ellos de -11.94 [kN]
nsel,all
  !SALVAR Y SALIR
save
finish          ! salir del preprocesador
```

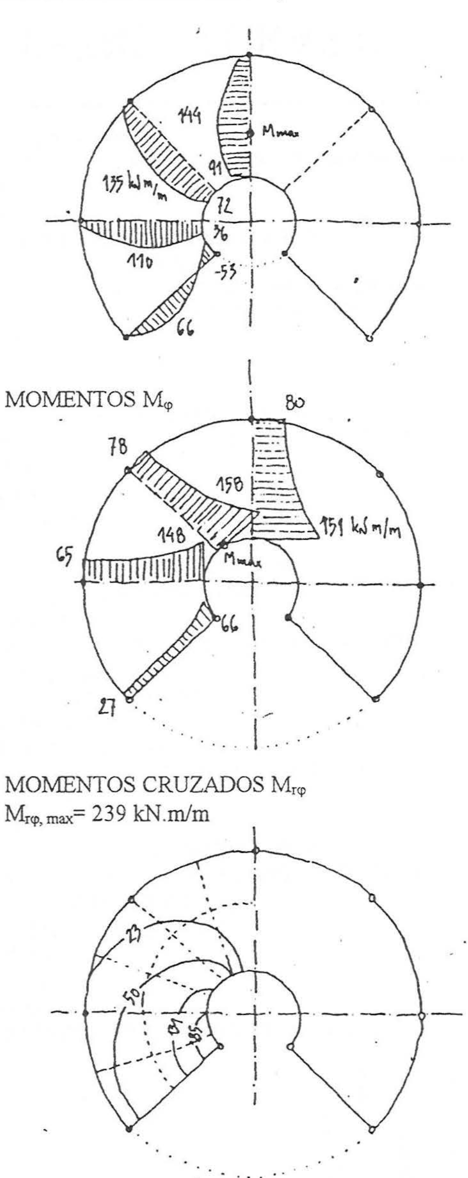
```
!PROCESADOR DE SOLUCION
/solution
antype, static    ! indica que el tipo de análisis es estático
solve             ! ordena resolver el sistema
finish            ! salir del procesador

 !POSTPROCESADOR
 !SALIDA E INTERPRETACION DE RESULTADOS
/post1
 ! Tablas de valores
etable,sx,s,x     ! prepara la tabla denominada sx,
                  ! con los valores de los esfuerzos s componente x
                  ! en coordenadas globales
etable,sy,s,y
etable,sxy,s,xy
set,1,1           ! lee datos de resultados del paso de carga 1
smult,mx,sx,,33750
                  ! calcula los momentos a partir de las tensiones
                  ! M = S*W
                  ! en coordenadas globales
smult,my,sy,,33750
smult,mxy,sxy,,33750
etable,m1,smisc,4
                  ! momento en coordenadas locales del elemento
etable,m2,smisc,5
etable,m12,smisc,6
 ! Dibujos
pldisp,2          ! muestra la estructura deformada
                  ! y el contorno de la original (2)
/pbc,all,0        ! no muestra los simbolos de coacciones
pletab,mx,avg     ! gráfica de los datos de la tabla mx,
                  ! (avg): tomando en el interior del elemento
                  ! un promedio lineal
pletab,my,avg
pletab,mxy,avg
pletab,m1,avg
pletab,m2,avg
pletab,m12,avg
plvect,pdir       ! gráfica de resultados del elemento como vector
                  ! (pdir): tensiones en direcciones principales
 !imprimir
pretab,mx,my,mxy
pretab,m1,m2,m12
prrsol,f          ! imprime las reacciones en los nudos, (f)
prnsol,u          ! imprime desplazamientos (u) en los nodos
finish
```

MOMENTOS RADIALES M_r



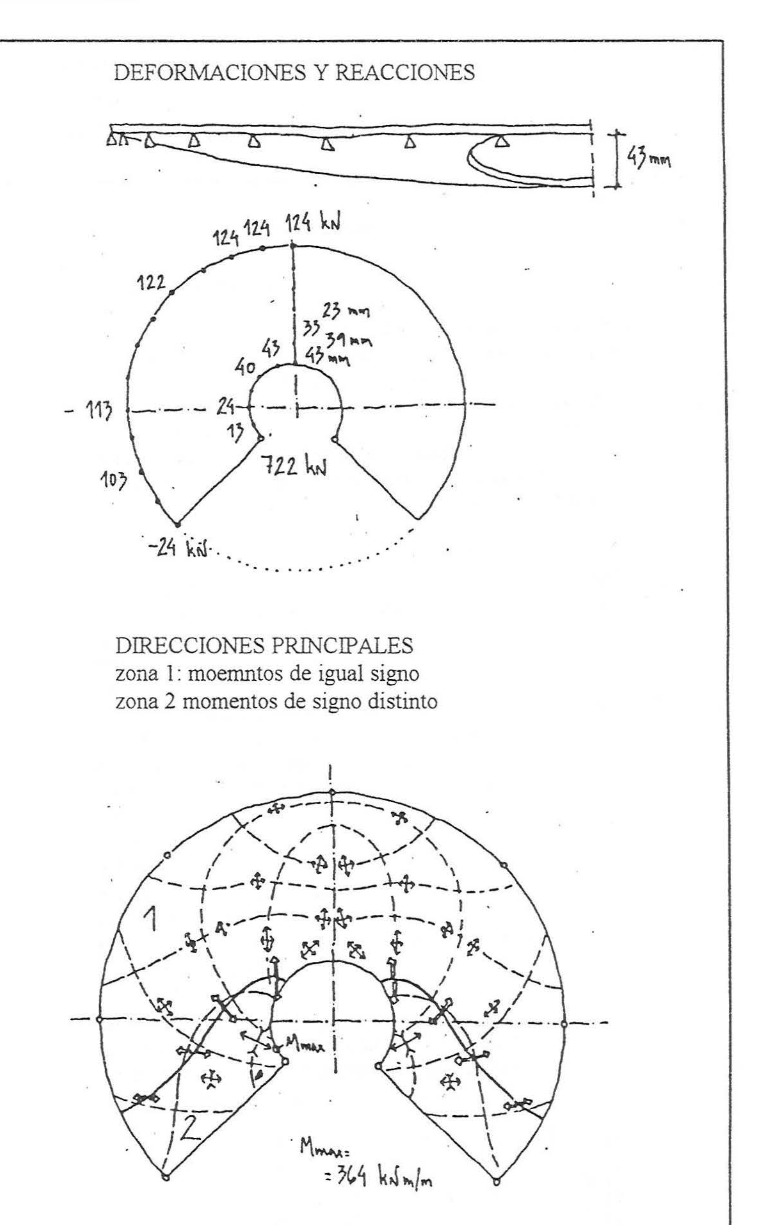
MOMENTOS M_φ



MOMENTOS CRUZADOS $M_{r\varphi}$

$M_{r\varphi,\,max}$= 239 kN.m/m

DEFORMACIONES Y REACCIONES



DIRECCIONES PRINCIPALES

zona 1: moemntos de igual signo

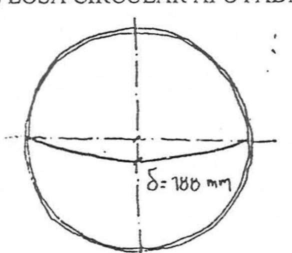
zona 2 momentos de signo distinto

CONJETURAS:

1) LOSA CIRCULAR APOYADA EN CONTORNO

Solución elástica (ν=0)

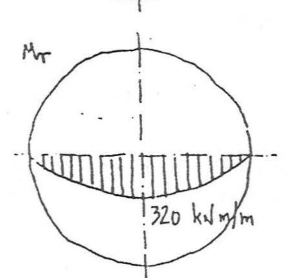
$$\omega=\frac{1}{64}\frac{q}{D}(r^4-6R^2r^2+5R^4)$$

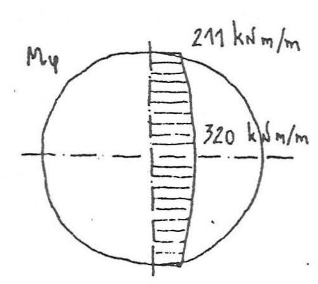


$T_r = q\cdot r/2$

$M_r = 3\cdot q/16\cdot(R^2-r^2)$

$M_\alpha = q/16\cdot(3R^2-r^2)$





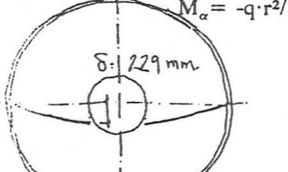
2) LOSA CON AGUJERO

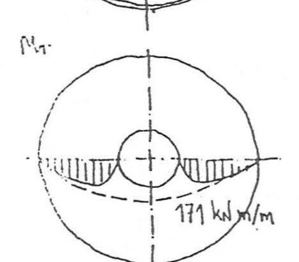
Solución elástica

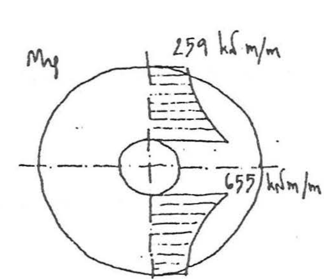
$T_r = q\cdot r/2 - q\cdot r_0^2$

$M_r = -3\cdot q\cdot r^2/16 + q\cdot r_0^2/4\cdot(\text{Ln } r+0{,}5) + C_1/2 - C_2/r^2$

$M_\alpha = -q\cdot r^2/16 + q\cdot r_0^2/4\cdot(\text{Ln } r-0{,}5) + C_1/2 + C_2/r^2$







3) LOSA CON AGUJERO Y CARGA LINEAL

$T_r = r_0/r\cdot q_l$

$M_r = -r_0\cdot q_l/2\cdot(\text{Ln } r+1{,}5) + C_1/2 - C_2/r^2$

$M_\alpha = -r_0\cdot q_l/2\cdot(\text{Ln } r-0{,}5) + C_1/2 + C_2/r^2$

Mr

12,11 kN·m/m.

Mα

67 kN·m/m.

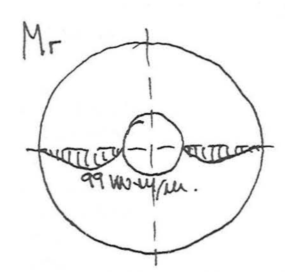
147 kN·m/m.

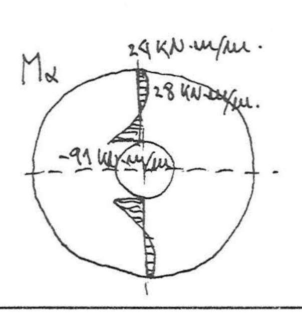
4) LOSA CON APOYO INTERIOR

$T_r = q\cdot r/2 - q\cdot r_0^2 - r_0\cdot N/r$

$M_r = -3\cdot q\cdot r^2/16 + q\cdot r_0^2/4\cdot(\text{Ln } r+0{,}5) + r_0\cdot N/2\cdot(\text{Ln } r+1{,}5) + C_1/2 - C_2/r^2$

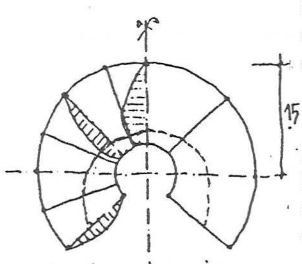
$M_\alpha = -q\cdot r^2/16 + q\cdot r_0^2/4\cdot(\text{Ln } r-0{,}5) + r_0\cdot N/2\cdot(\text{Ln } r-0{,}5) + C_1/2 + C_2/r^2$





5) ASIMILACION A ESTRUCTURA DE VIGAS

a) vigas radiales con anillo



Las vigas se apoyan ficticiamente en apoyos progresivamente a más distancia. (Si tomamos máxima 15m)

$$M=\frac{qR^2}{8}=\frac{7{,}6\ 15^2}{8}=213\,\text{kN.m/m}$$

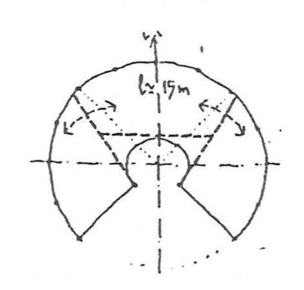
Los pilares soportan más de la mitad de la carga cuando se aproximan al eje de simetría. Y el central menos de ½ de carga (p. ej 0,4)

CARGA TOTAL 4029 kN

½ CARGA TOTAL 2013 kN PILAR CENTRAL 805 kN

b) vigas en luces cortas

Llegamos de esta manera de nuevo a luces de flexión de 15m.



```
!PREPROCESADO, ENTRADA DE DATOS
/prep7
/view,1,2,3,5
/vup,1,z
/title,LOSA CON AGUJERO Y DOBLE APOYO

 !TIPO DE ELEMENTO
et,1,63   ! elemento tipo shell63
          ! comportamiento de membrana y de flexión
          ! con 4 nodos
r,1,450   ! espesor [mm]

 ! MATERIAL
                    ! asimilacion a hormigon armado de cuantia alta
mp,ex,1,21          ! [kN/mm2]
mp,nuxy,1,.1
mp,dens,1,8e-9      ! [kN/mm3]

 ! GEOMETRIA
csys,1              ! activa el sistema de coordenadas cilindricas
(1)
 !puntos clave
k,1,4000,90         ! punto clave numero 1 de coordenadas
cilindricas (4000,45) [mm]
k,2,15000,90
k,3,15000,0
k,4,4000,0
 !lineas
l,1,2,20  ! define la linea 1 entre los puntos clave 2 y 6
l,2,3,9
l,3,4,20
l,4,1,9
lplot               ! dibuja las lineas definidas
al,1,2,3,4 ! define un area delimitada por las lineas 1, 2, 3 y 4
                    ! sera el area 1

 ! GENERACION DE NODOS Y ELEMENTOS
type,1
real,1
amesh,1             ! genera elementos superficiales con sus nodos
        ! en el area 1,
        ! asignando el elemento seleccionado
/pnum,elem,1 ! activa la numeracion de elementos
/pnum,node,1        ! activca la numeracion de nodos
eplot               ! dibuja los elementos

 ! Condiciones de apoyo
/pbc,all,1          ! muestra los simbolos de coacciones
nsel,s,loc,x,15000
d,all,uz,0          ! apoyo continuo en el contorno
nsel,all
nsel,s,loc,x,4000
d,all,uz,0
nsel,all
nsel,s,loc,y,90
dsym,symm,x
nsel,all
nsel,s,loc,y,0
dsym,symm,y
nsel,all

 !CARGAS
          ! losa aligerada 8e-9kN/mm3 * 450mm =3.6e-6kN/mm2
          ! sobrecarga
          4e-6  kN/mm2
          !
          ------------------
          !
          7.6e-6kN/mm2
          !
          o bien 2.11*peso propio
acel,0,0,2.11       ! asigna una aceleracion 2.11 en el eje Z
nsel,all

 !SALVAR Y SALIR
save
finish       ! salir del preprocesador


 !PROCESADOR DE SOLUCION
/solution
antype, static      ! indica que el tipo de análisis es estático
solve               ! ordena resolver el sistema
finish              ! salir del procesador

 !POSTPROCESADOR
 !SALIDA E INTERPRETACION DE RESULTADOS
/post1
  ! Tablas de valores
etable,m1,smisc,4
                    ! momento en coordenadas locales del elemento
etable,m2,smisc,5
etable,m12,smisc,6
 ! Dibujos
pldisp,2            ! muestra la estructura deformada
                    ! y el contorno de la original (2)
/pbc,all,0          ! no muestra los simbolos de coacciones
pletab,m1,avg
pletab,m2,avg
pletab,m12,avg
plvect,pdir         ! gráfica de resultados del elemento como vector
                    ! (pdir): tensiones en direcciones principales
 !imprimir
pretab,m1,m2,m12
prrsol,f            ! imprime las reacciones en los nudos, (f)
prnsol,u            ! imprime desplazamientos (u) en los nodos

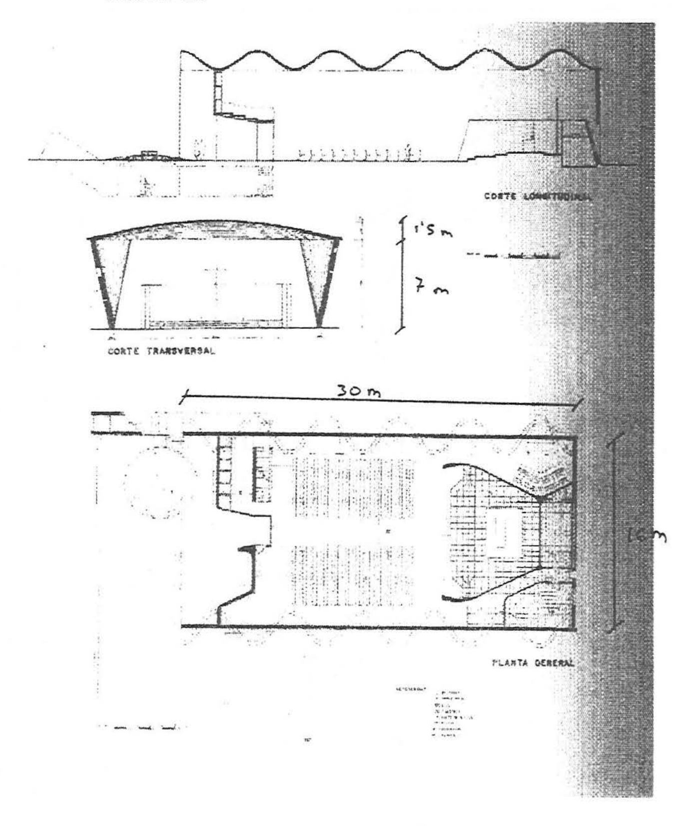
!OTRAS ORDENES PARA SACAR GRAFICAS
/erase
/yrange,-55,150
lpath,1,2
pdef,cero,s,z
plpath,cero
/noerase
etable,m1,smisc,4
lpath,1,2
pdef,mrad,etab,m1,avg
plpath,mrad


/erase
/yrange,0,160
pdef,cero,s,z
plpath,cero
/noerase
etable,m2,smisc,5
lpath,1,2
pdef,mcirc,etab,m2,avg
plpath,mcirc
```

IGLESIA DE LA ATLÁNTIDA.

ELADIO DIESTE.

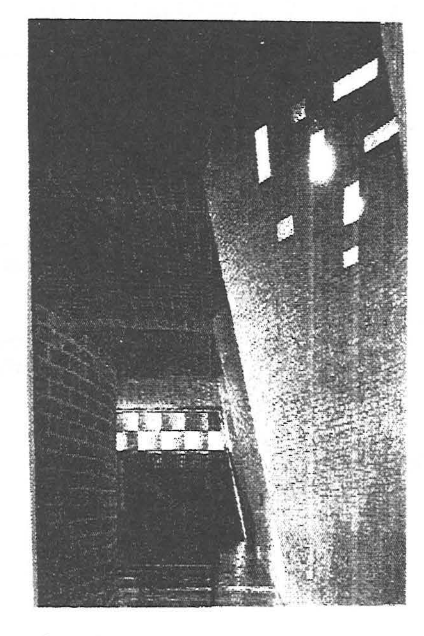
URUGUAY. 1960



NAVE : 16 m x 30 m (5 módulos de 6 m)

h → 7 m + 1,5 m





"PUEDO DECIR QUE PROCURÉ QUE ÉSTE (EL PROYECTO) RESPONDIERA A UN ESTILO SERIO, A LA VEZ SEVERO Y AMABLE DE PIEDAD, CON UNA GRAN CONFIANZA EN EL ESPÍRITU CRISTIANO DE LOS HUMILDES QUE HAN DE USARLA... QUE LA IGLESIA COMO ARQUITECTURA NO FUESE UN OBSTÁCULO PARA UNA PIEDAD VERDADERA SINO SU MANIFESTACIÓN PRIMERA. LOS MEDIOS Y LOS MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN TAMBIÉN QUIEREN SER EXPRESIVOS: HUMILDES COMO LOS FIELES PARA QUIENES LA IGLESIA SE CONSTRUYÓ, PERO FUERON TRATADOS CON EL DESVELO QUE ASPIRA A SER EL HOMENAJE QUE ESTOS HUMILDES SE MERECEN"

Eladio Dieste

```
! PREPROCESADOR: Entrada de datos
/prep7
/window,1,full
/view,1,20,20,20
/vup,1,z
/title, LA ATLÁNTIDA

! TIPO DE ELEMENTO
et,1,63          ! elemento tipo shell63
                 ! plano de 4 nodos
r,1,0.1          ! espesor cubierta [m]
r,2,0.3          ! espesor muro [m]

! MATERIAL 1: ladrillo
mp,ex,1,6e6      ! módulo de elasticidad [kN/m2]
mp,nuxy,1,e5     ! coef. de Poisson
mp,dens,1,16     ! densidad [kN/m3]

! GEOMETRIA
! definición del muro
! línea inferior
k,1,8,-3,0       ! puntos clave
k,2,8,0,0
l,1,2            ! L1 recta entre los puntos 1 y 2
! línea superior
k,3,6.5,-3,7
k,4,6.8,-2.25,7
k,5,8,-1.5,7
k,6,9.125,-0.75,7
k,7,9.5,0,7
bspline,3,4,5,6,7      !L2 curva de segundo grado
                       ! entre los puntos 3,4,5,6,7
! líneas interiores
l,1,3                  ! L3
l,2,7                  ! L4
! áreas muro
al,1,4,2,3             ! A1 definición de área entre
                       ! las líneas 1, 4, 2, 3
aplot

! Definición de la cubierta
! línea central
k,8,0,-3,7.07          !puntos clave
k,9,0,-2.25,7.25
k,10,0,-1.5,7.787
k,11,0,-0.75,8.32
k,12,0,0,8.5
bspline,8,9,10,11,12
                       ! L5 curva de segundo grado
! parábolas transversales
k,13,4,-3,7.0
k,14,4,0,8.236
bspline,3,13,8         ! L6
bspline,7,14,12        ! L7
! áreas cubierta
al,2,7,5,6             ! A2
aplot

! Definición del zuncho
! línea exterior
k,15,7.9,-3,7
k,16,8.2,-2.25,7
k,17,8.95,-1.5,7
k,18,9.6,-0.75,7
k,19,10,0,7
bspline,15,16,17,18,19
! líneas muro-zuncho
l,3,15
l,7,19
! áreas zuncho
al,8,10,2,9
aplot

! Simetrías
arsym,x,1,3,1,,0       !simetría respecto al eje x
                       ! de las areas de la 1 a la 3 tomadas
                       ! de 1 en 1, generando áreas
                       ! adicionales
arsym,y,1,6,1,,0       !simetría respecto al eje y
                       ! de las áreas de la 1 a la 6 tomadas
                       ! de 1 en 1, generando áreas
                       ! adicionales
nummrg,all ! elimina puntos y rectas muy
                       ! próximos o dobles
```

```
 ! NODOS Y ·ELEMENTOS
 ! muro
type,1
real,2
! eshape,0,2      ! rellenar el área permitiendo
                  ! mezclar elementos cuadrados
y
                  ! triangulares sin crear nodos
                  ! intermedios
! esize,,5        ! número de divisiones de las
                  ! líneas de borde
amesh,1,10,3      ! rellena de elementos del
                  ! área 1 a la 10 en pasos de 3

 ! bóveda
type,1
real,1
! eshape,2,2      ! sólo permite elementos
                  ! cuadrados sin nodos
                  ! intermedios
! esize,,7
amesh,2,12,3

 ! TIPO DE ELEMENTO
et,2,63           !elemento tipo shell63
r,3,0.2           !espesor zuncho [m]
 ! MATERIAL 2: hormigón
mp,ex,2,21e6      !módulo de elasticidad [kN/m2]
mp,nuxy,2,e5      !coef. de Poisson
mp,dens,2,25      !densidad [kN/m3 ]

 ! zuncho
type,2
real,3
!eshape,2,2
!esize,,3
amesh,3,12,3

 ! CONDICIONES DE APOYO
 ! empotramiento en la base
nsel,z,0          !selecciona los nodos de z=0
d,all,uz,0        !coarta desplazamiento vertical
d,all,uy,0     !coarta desplazamiento en la
               ¡direccion y
d,all,ux,0        !coarta desplazamiento en la
                  ¡direccion x
d,all,rotx,0      !coarta giro respecto eje x
d,all,roty,0      !coarta giro respecto eje y
```

Sobrecarga a un lado de la estructura
Carga superficial presión en el eje Z

MALLA DE ELEMENTOS
- En ANSYS 5.3 educac. es necesario limitar el número de elementos

Viento: Se supone que la acción horizontal la absorbe el zuncho al ser más rígido.

```
d,all,rotz,0      !coarta giro respecto eje z
nsel,all          !selecciona todos los nodos

 ! simetría en planos Y
nsel,y,-3         !selecciona los nodos de y=-3
dsym,symm,y       !coacciones equivalentes a que
la              ¡estructura es simétrica respecto el
                ¡eje y
nsel,y,3
dsym,symm,y
nsel,all

 ! CARGAS
 ! Peso propio
acel,0,0,1        ! carga de peso propio
 ! Sobrecarga nieve a un lado
! sfa,2,,pres,-0.5
! sfa,8,,pres,-0.5
 ! Viento
 ! Cargas en nodos del zuncho
! f,915,fx,-2.1
! f,917,fx,-2.1
! f,918,fx,-2.1
! f,919,fx,-2.1
! f,920,fx,-2.1
! .....
! f,988,fx,-2.1
! f,989,fx,-2.1
! f,985,fx,-2.1

save
finish

!PROCESADOR DE SOLUCIÓN
/solution
lumpm,on
antype,static         !análisis estático
solve
finish
```

```
 !POSTPROCESADOR
 !SALIDA E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS
/post1
prrsol,f          ! imprime reacciones en nudos
                  ! comprobación de equilibrio global
pldisp,2          ! estructura deformada y contorno de la original (2)
prnsol,u          ! imprime desplazamientos (u) en nudos
                  ! comprobación de deformaciones
 ! Tensiones
shell,top         ! localización en que se dan los resultados de las
                  ! tensiones en el elemento laminar
                  ! (top): cara superior
                  ! (mid): medio
                  ! (bot): cara inferior
etable,SXt,s,x
etable,SYt,s,y
etable,SZT,s,z

shell,bot
etable,SXb,s,x
etable,SYb,s,y
etable,SZb,s,z

pletab,SXt,avg
pletab,SXb,avg

pletab,SYt,avg
pletab,SYb,avg

pletab,SZt,avg
pletab,SZb,avg

 ! Momentos en coordenadas locales del elemento
etable,Mx,smisc,4
etable,My,smisc,5
etable,Mxy,smisc,6
pletab,Mx,avg
pletab,My,avg
pletab,Mxy,avg
```

$\Sigma f_x = 0$
$\Sigma f_y = 0$
$\Sigma f_z = 680$ kN ⟺ Σ PESO

Peso bóveda = 16 kN/m³ × 0,1 × 6 × 16 ≃ 153'6 kN
Peso muro = 2 × (16 kN/m³ × 0,3 × 7 × 7) ≃ 470'4 kN
Peso zuncho = 2 × (25 kN/m³ × 0,2 × 0,75 × 7) ≃ 52,5 kN
Σ Peso = 676'5 kN

```
plvect,s,,,,vect,,on

 ! GRÁFICAS

 ! Momentos y tensiones en cortes transversales
/erase
/yrange,-1.5,1.5
etable,Mx,smisc,4
lpath,487,488,489,490,491,492,493,472,728,727,7
26,725,724,723,708
pdef,Mx1,etab,Mx,avg
plpath,Mx1
/noerase
etable,Mx,smisc,4
lpath,498,558,583,572,542,481,767,743,739,751,7
80,713
pdef,Mx2,etab,Mx,avg
plpath,Mx2
/noerase
etable,Mx,smisc,4
lpath,596,671,683,684,638,665,615,861,838,889,8
88,887,816
pdef,Mx3,etab,Mx,avg
plpath,Mx3

 ! Momentos y tensiones en cortes transversales
/erase
/yrange,-1.5,1.5
etable,My,smisc,5
lpath,487,488,489,490,491,492,493,472,728,727,7
26,725,724,723,708
pdef,My1,etab,My,avg
plpath,My1
/noerase
etable,My,smisc,5
lpath,498,558,583,572,542,481,767,743,739,751,7
80,713
pdef,My2,etab,My,avg
plpath,My2
/noerase
etable,My,smisc,5
lpath,596,671,683,684,638,665,615,861,838,889,8
88,887,816
pdef,My3,etab,My,avg
plpath,My3
```

TENSIONES PRINCIPALES

CORTE TRANSVERSAL CENTRAL

Mx cortes transversales

CORTE TRANSVERAL INTERMEDIO

My cortes transversales

CORTE TRANSVERSAL CERCANO A BORDE

```
/erase
/yrange,-850,850
shell,top
etable,SXt,s,x
shell,mid
etable,SXm,s,x
shell,bot
etable,SXb,s,x
lpath,487,488,489,490,491,492,493,472,728,727,726,72
5,724,723,708
pdef,SXtop,etab,SXt,avg
plpath,SXtop
/noerase
pdef,SXmid,etab,SXm,avg
plpath,SXmid
pdef,SXbot,etab,SXb,avg
plpath,SXbot

/erase
/yrange,-850,850
shell,top
etable,SXt,s,x
shell,mid
etable,SXm,s,x
shell,bot
etable,SXb,s,x
lpath,498,558,583,572,542,481,767,743,739,751,780,71
3
pdef,SXtop,etab,SXt,avg
plpath,SXtop
/noerase
pdef,SXmid,etab,SXm,avg
plpath,SXmid
pdef,SXbot,etab,SXb,avg
plpath,SXbot

/erase
/yrange,-850,850
shell,top
etable,SXt,s,x
shell,mid
etable,SXm,s,x
shell,bot
etable,SXb,s,x
lpath,596,671,683,684,638,665,615,861,838,889,888,88
7,816
pdef,SXtop,etab,SXt,avg
plpath,SXtop
/noerase
pdef,SXmid,etab,SXm,avg
plpath,SXmid
pdef,SXbot,etab,SXb,avg
plpath,SXbot
```

```
!Momentos y tensiones en cortes longitudinales
/erase
/yrange,-2,2
etable,Mx,smisc,4
lpath,5,473,475,477,479,481,483,485,472,621,619,
617,615,613,611,609,136
pdef,Mx4,etab,Mx,avg
plpath,Mx4
/noerase
etable,Mx,smisc,4
lpath,709,711,713,715,717,719,721,708,827,825,8
23,821,819,817,815
pdef,Mx5,etab,Mx,avg
plpath,Mx5

/erase
/yrange,-2,2
etable,My,smisc,5
lpath,5,473,475,477,479,481,483,485,472,621,619,
617,615,613,611,609,136
pdef,My4,etab,My,avg
plpath,My4
/noerase
etable,My,smisc,5
lpath,709,711,713,715,717,719,721,708,827,825,8
23,821,819,817,815
pdef,My5,etab,My,avg
plpath,My5

shell,mid
/erase
/yrange,-850,850
etable,SX,s,x
lpath,5,473,475,477,479,481,483,485,472,621,619,
617,615,613,611,609,136
pdef,SX4,etab,SX,avg
plpath,SX4
/noerase
etable,SX,s,x
lpath,709,711,713,715,717,719,721,708,827,825,8
23,821,819,817,815
pdef,SX5,etab,SX,avg
plpath,SX5
```

Mx CORTE LONGITUDINAL

Sy CORTE LONGITUDINAL

My CORTE LONGITUDINAL

Sx NODOS ZUNCHO BÓVEDA

Sx CORTE LONGITUDINAL

```
/erase
/yrange,-850,850
etable,SY,s,y
lpath,5,473,475,477,479,481,483,485,472,621,619,617,6
15,613,611,609,136
pdef,SY4,etab,SY,avg
plpath,SY4
/noerase
etable,SY,s,y
lpath,709,711,713,715,717,719,721,708,827,825,823,82
1,819,817,815
pdef,SY5,etab,SY,avg
plpath,SY5

!Empuje en zuncho
/erase
/yrange,-750,200
lpath,20,22,24,26,28,30,32,34,5,276,274,272,270,268,26
6,264,252
pdef,empuje,s,x
plpath,empuje

!Errores
/erase
etable,error1,serr      ! porcentaje de error debido a la
                        ! geometría
etable,error2,sdsg      ! variación máxima de las tensiones
pletab,error1,avg
pletab,error2,avg
```

!DEFINICIÓN APROXIMADA DE LA CÚPULA DE SAN PEDRO

540 kN (Peso total linterna)

2 m. 3 m. 3 m. 19 m. 70°

105 84 63 42 21 85 64 43 22 1 12 11

SAN PEDRO

Crack Plane

Figure 4.65-2 SOLID65 Stress Output

```
!PREPROCESADO, ENTRADA DE DATOS
/title, SAN PEDRO
/view,1,0,1,1
/vup,1,z
/prep7

!TIPO DE ELEMENTO
et,1,65 ! SOLID65,
! elemento con capacidad de fisuras en tracción

!MATERIAL ladrillo
mp,ex,1,5e6            ! modulo de elasticidad [kN/m2]
mp,dens,1,20    ! densidad 20 kN/m3
mp,nuxy,1,.15   ! nu=0,15
tb,concr,1             ! activa tabla de datos del material 1,
                       ! tipo hormigon SOLID65
tbdata,1,0,1,355,30000
          ! define los valores de la tabla de datos
          ! tabla para fisuracion: material 1,
          ! tranferencia de cortante 0 (fisura abierta),
          ! 1 (fisura cerrada),
          ! tensión de rotura en tracion 355 [kN/m2],
          ! en compresion 30000 [kN/m2]

!GEOMETRIA
!NODOS
local,11,2,-3,0,0      ! coordenadas esféricas (2) para
                       !entrada de sección
n,1,19,0,0
n,21,19,0,70
fill,1,21
n,22,19.75,0,0
n,42,19.5,0,70
fill,22,42
n,43,20.5,0,0
n,63,20,0,70
fill,43,63
n,64,21.25,0,0
n,84,20.5,0,70
fill,64,84
n,85,22,0,0
n,105,21,0,70
fill,85,105
local,12,1,0,0,0 ! define coordenadas cilindricas (1)
                 !para generar por rotación un octavo
                 ! de cúpula
ngen,3,105,1,105,1,0,1,0 ! generando 3 bandas
                 ! (1 grados de separación entre ellas)

!ELEMENTOS
!esys,0 ! selecciona la orientación de ejes en los
elementos
                 ! de cara a la salida de resultados
                 !por defecto (0):paralelas a ejes de
elementos
esys,11
e,1,22,127,106,2,23,128,107
egen,4,21,1,1 ! 4 elementos en el espesor
egen,20,1,1,4,1 ! 20 elementos en toda la altura
egen,2,105,1,80,1      ! 2 elementos

!CONDICIONES DE APOYO Y CARGA
csys,12        ! activa el sistema de coordenadas
               cilíndricas previamente definido como 12
nsel,s,loc,z,0 ! todos los nudos de la base
d,all,uz,0             ! con descenso impedido
nsel,s,loc,z,19.70,19.80      ! todos los nudos de la
                               cota de la linterna
f,all,fz,-1.5          ! con carga de linterna.
nsel,r,loc,y,0,2,2     ! los extremos tienen la mitad
f,all,fz,-0.75
nsel,all
acel,0,0,1             !peso propio
nrotat,1,315,1 ! preparo sistema de coordenadas
               locales en nudos paralelas a las
               cilindricas
nsel,s,loc,y,0 !
d,all,uy,0         ! movimientos circunferenciales
                   impedidos
nsel,s,loc,y,2 !
d,all,uy,0         !

!RESISTENCIA FRENTE A EMPUJES
       !Diferentes posibilidades
       !1: mediante coacción infinita en la base,
       ! dado un desplazamiento radial nulo
       !2: mediante coacción en la base, dado un
       !  desplazamiento radial fijo no nulo

! MODO 1: desplazamiento horizontal de apertura
nulo
! nsel,s,loc,z,0
! d,all,ux,0.00
!MODO 2: desplazamiento horizontal de apertura no
nulo
nsel,s,loc,z,0
d,all,ux,0.01    ! 1 cm
nsel,all
/pbc,all,1
eplot

!SALVAR Y SALIR
save
finish       ! salir del preprocesador

!PROCESADOR DE SOLUCION
!modulo de solucion estático, Newton Rapson
/solution
antype,static  ! análisis estático
outres,all,all
neqit,40
pred,on
nropt,auto
nsubst,15,20   ! especifica el numero y tamaño de los
               saltos de carga al estar activado los
               saltos automaticos (autots,on)
               ! (15)tamaño del primer paso de carga,
               ! (20) numero de pasos máximo
autots, on         ! activa saltos de carga automaticos
solve
finish
```

```
!POSTPROCESADOR
/post1
set,1
/pbc,all,0
esel,s,elem,,1,160,1   ! selecciona un subconjunto (s)
                         de elementos por su numeración
                         (elem), desde el 1 al 160 tomados
                         de 1 en 1
/view,1,0,1,0
nsel,s,loc,z,-0.2,0.01  ! selecciona un subconjunto (s)
                         de nodos de coordenada z entre –
                         0.2 y 0.01
!reacciones en la base
prrsol,fx   ! imprime las reacciones en los nudos en el
              sentido x, (fx)
prrsol,fy   ! Idem, (fy)
prrsol,fz   ! Idem, (fz)
nsel,s,loc,y,0,0
!tensiones.
rsys,11
plnsol,sx   ! gráfica de resultados de las tensiones sx
            ! en los nodos y elementos seleccionados
plnsol,sy            ! Idem, tensiones sy
plnsol,sz            ! Idem,tensiones sz
nsel,all
/device,vector,on      ! opciones de dispositivo gráfico,
            ! activa el modo VECTOR, las areas y
            volumenes se representan alambricas
plcrack ! representa las grietas
/device,vector,off

!ALGUNOS CALCULOS

!tensiones en la base

lpath,1,22,43,64,85  ! define un camino de nodos
para operaciones posteriores
pdef,sig_base-z,s,z     ! define e interpola entre los
            nodos del camino definido los valores de
            tensión en la dirección Z
pdef,sig_cir,s,y        ! Idem, tensión en la dirección Y
plpath,sig_base-z,sig_cir

!trazado de tensiones sobre el eje de la cúpula

lpath,43,45,47,49,51,53,55,57,59,63
pdef,s_z,s,z   ! tensión en la dirección Z
pdef,s_y,s,y   ! tensión en la dirección Y
plpath,s_z,s_y

!Trazado de tensiones en dirección Z en cinco cortes
a lo largo de la cúpula.
rsys,11
dsys,11
lpath,1,3,5,7,9,11,13,15,17,21
pdef,s_z1,s,z
pdef,save       ! evita que al definir un nuevo camino
                de nodos se pierdan los valores calculados
lpath,22,24,26,28,30,32,34,36,38,42
pdef,s_z2,s,z
pdef,save
lpath,43,45,47,49,51,53,55,57,59,63
pdef,s_z3,s,z
pdef,save
lpath,64,66,68,70,72,74,76,78,80,84
pdef,s_z4,s,z
pdef,save
lpath,85,87,89,91,93,95,97,99,101,105
pdef,s_z5,s,z
pdef,save
pcalc,add,cero,s_z1,s_z1,1,-1
pdef,save

plpath,s_z1,s_z2,s_z3,s_z4,s_z5,cero

! Mas interesante aun: trazado de espesores y
! posicion del poligono de presiones: y grafica de
tensiones  N fi

!Para espesor: distribución lineal de 3m. para s=0, y
2m. para s=26.3   e=3-(s/26.3)

pcalc,add,esp2,s,,-0.0190114,,1.5
pcalc,add,ju1,s_z2,s_z3,2,2
pcalc,add,ju2,ju1,s_z4,1,2
pcalc,add,ju3,ju2,s_z1,1,1
pcalc,add,ju4,ju3,s_z5,1,1
pcalc,mult,ntotzju,ju4,esp2,0.25
pcalc,add,ju1,s_z1,s_z2,(-5/96),(-1/16)
pcalc,add,ju2,s_z4,s_z5,(1/16),(5/96)
pcalc,add,ju3,ju1,ju2,1,1
pcalc,mult,ju4,esp2,esp2,4
pcalc,mult,momju,ju4,ju3,1
pcalc,div,excju,momju,ntotzju
pcalc,add,-esp2,esp2,esp2,-.5,-.5

plpath,esp2,cero,excju,-esp2

plpath,cero,ntotzju,momju

!Trazado de tensiones en dirección Y en cinco cortes a
lo largo de la cúpula. Y grafica de tensiones N teta

rsys,11
dsys,11

lpath,1,3,5,7,9,11,13,15,17,21
pdef,s_y1,s,y
pdef,save      ! evita que al definir un nuevo camino
de nodos se pierdan los valores calculados
lpath,22,24,26,28,30,32,34,36,38,42
pdef,s_y2,s,y
pdef,save
lpath,43,45,47,49,51,53,55,57,59,63
pdef,s_y3,s,y
pdef,save
lpath,64,66,68,70,72,74,76,78,80,84
pdef,s_y4,s,y
pdef,save      ! evita que al definir un nuevo camino
de nodos se pierdan los valores calculados
lpath,85,87,89,91,93,95,97,99,101,105
pdef,s_y5,s,y
pdef,save
pcalc,add,cero,s_y1,s_y1,1,-1
pdef,save
plpath,s_y1,s_y2,s_y3,s_y4,s_y5,cero


pcalc,add,ju1,s_y2,s_y3,2,2
pcalc,add,ju2,ju1,s_y4,1,2
pcalc,add,ju3,ju2,s_y1,1,1
pcalc,add,ju4,ju3,s_y5,1,1
pcalc,mult,ntotyju,ju4,esp2,0.25

plpath,cero,ntotyju

!Trazado de tensiones en dirección XZ (tangenciales)
en cinco cortes a lo largo de la cúpula. , grafica de
tensiones tangenciales y suma de tangenciales con N
fi, y todas juntas


rsys,11
dsys,11

lpath,1,3,5,7,9,11,13,15,17,21
pdef,s_xz1,s,xz
pdef,save      ! evita que al definir un nuevo camino
de nodos se pierdan los valores calculados
lpath,22,24,26,28,30,32,34,36,38,42
pdef,s_xz2,s,xz
pdef,save
lpath,43,45,47,49,51,53,55,57,59,63
pdef,s_xz3,s,xz
pdef,save
lpath,64,66,68,70,72,74,76,78,80,84
pdef,s_xz4,s,xz
pdef,save      ! evita que al definir un nuevo camino
de nodos se pierdan los valores calculados
lpath,85,87,89,91,93,95,97,99,101,105
pdef,s_xz5,s,xz
pdef,save
pcalc,add,cero,s_xz1,s_xz1,1,-1
pdef,save
plpath,s_xz1,s_xz2,s_xz3,s_xz4,s_xz5,cero

pcalc,add,esp2,s,,-0.0190114,,1.5
pcalc,add,ju1,s_xz2,s_xz3,2,2
pcalc,add,ju2,ju1,s_xz4,1,2
pcalc,add,ju3,ju2,s_xz1,1,1
pcalc,add,ju4,ju3,s_xz5,1,1
pcalc,mult,ntotxzju,ju4,esp2,0.25
pcalc,add,ntotzxzju,ntotxzju,ntotzju,1,1

plpath,cero,ntotxzju

plpath,cero,ntotzxzju,ntotxzju,ntotzju,ntotyju


finish
! FIN
```

MODO 1:
SIN DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES EN LA BASE

ANSYS 5.3
MAY 13 1999
15:55:09
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =5
TIME=1
SY (AVG)
RSYS=11
DMX =.001538
SMN =-352.9
SMX =36.824
-352.9
-309.598
-266.295
-222.992
-179.69
-136.387
-93.084
-49.782
-6.479
36.824

MN
SAN PEDRO

GRAFICA DE TENSIONES SY (N teta)

ANSYS 5.3
MAY 13 1999
15:56:13
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =5
TIME=1
SZ (AVG)
RSYS=11
DMX =.001538
SMN =-416.848
SMX =-41.98
-416.848
-375.196
-333.544
-291.892
-250.24
-208.588
-166.936
-125.284
-83.632
-41.98

MX
SAN PEDRO

GRAFICA DE TENSIONES SZ (N fi)

ANSYS 5.3
MAY 13 1999
15:57:13
CRACKS AND CRUSHING
STEP=1
SUB =5
TIME=1

SAN PEDRO

REPRESENTACION DE GRIETAS (ninguna en este caso)

ANSYS 5.3
MAY 13 1999
16:01:06
POST1
STEP=1
SUB =5
TIME=1
PATH PLOT
NOD1=85
NOD2=105
ZV =1
DIST=.75
XF =.5
YF =.5
ZF =.5

MOMJU
NTOTZJU
145.861, 42.339, -61.182, -164.704, -268.226, -371.748, -475.270, -578.792, -682.314, -785.836, -889.358
0, 2.628, 5.257, 7.885, 10.514, 13.143, 15.771, 18.400, 21.028, 23.657, 26.286
DIST
SAN PEDRO

GRAFICAS DE NORMALES TOTALES Y MOMENTOS (N fi y mom)

ANSYS 5.3
MAY 13 1999
15:59:55
POST1
STEP=1
SUB =5
TIME=1
PATH PLOT
NOD1=85
NOD2=105
ZV =1
DIST=.75
XF =.5
YF =.5
ZF =.5

base
linterna
ext
int
CERO
EXCJU
ESP2
1.5, 1.2, .9, .6, .3, 0, -.3, -.6, -.9, -1.2, -1.5
0, 2.628, 5.257, 7.885, 10.514, 13.143, 15.771, 18.400, 21.028, 23.657, 26.286
DIST
SAN PEDRO

GRAFICA DE EXCENTRICIDAD: POSICION DE LA RESULTANTE

ANSYS 5.3
MAY 13 1999
15:52:02
POST1
STEP=1
SUB =5
TIME=1
PATH PLOT
NOD1=85
NOD2=105
ZV =1
DIST=.75
XF =.5
YF =.5
ZF =.5
Z-BUFFER

Nz
NTOTXZJU
NTOTZXJU
NTOTJJU
Nθ
NTOTYJU
Ny+Nz
Ny
185.114, 77.666, -29.780, -137.227, -244.674, -352.121, -459.569, -567.016, -674.463, -781.910, -889.358
0, 2.628, 5.257, 7.885, 10.514, 13.143, 15.771, 18.400, 21.028, 23.657, 26.286
DIST
SAN PEDRO

GRAFICAS TOTALES DE: N fi, N teta, N tangencial y (N fi+ N tang)

MODO 2:
CON DESPLAZAMIENTOS HORIZONTAL DE 1CM. EN LA BASE

ANSYS 5.3
MAY 13 1999
15:37:08
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =8
TIME=1
SY (AVG)
RSYS=11
DMX =.010315
SMN =-1260
SMX =414.615
-1260
-1074
-888.247
-702.124
-516.001
-329.878
-143.755
42.368
228.492
414.615

SAN PEDRO

GRAFICA DE TENSIONES SY (N teta)

ANSYS 5.3
MAY 13 1999
15:39:03
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =8
TIME=1
SZ (AVG)
RSYS=11
DMX =.010315
SMN =-926.185
SMX =311.795
-926.185
-788.632
-651.079
-513.525
-375.972
-238.418
-100.865
36.688
174.242
311.795

SAN PEDRO

GRAFICA DE TENSIONES SZ (N fi)

ANSYS 5.3
MAY 13 1999
15:40:08
CRACKS AND CRUSHING
STEP=1
SUB =8
TIME=1

SAN PEDRO

REPRESENTACION DE GRIETAS

ANSYS 5.3
MAY 13 1999
15:35:55
POST1
STEP=1
SUB =8
TIME=1
PATH PLOT
NOD1=85
NOD2=105

ZV =1
DIST=.75
XF =.5
YF =.5
ZF =.5
Z-BUFFER

MOMJU
NTOTZJU
DIST

SAN PEDRO

GRAFICAS DE NORMALES TOTALES Y MOMENTOS (N fi y mom)

ANSYS 5.3
MAY 13 1999
15:35:13
POST1
STEP=1
SUB =8
TIME=1
PATH PLOT
NOD1=85
NOD2=105

ZV =1
DIST=.75
XF =.5
YF =.5
ZF =.5
Z-BUFFER

base
linterna
ext.
int
EXCJU
CERO
-ESP2
DIST

SAN PEDRO

GRAFICA DE EXCENTRICIDAD: POSICION DE LA RESULTANTE

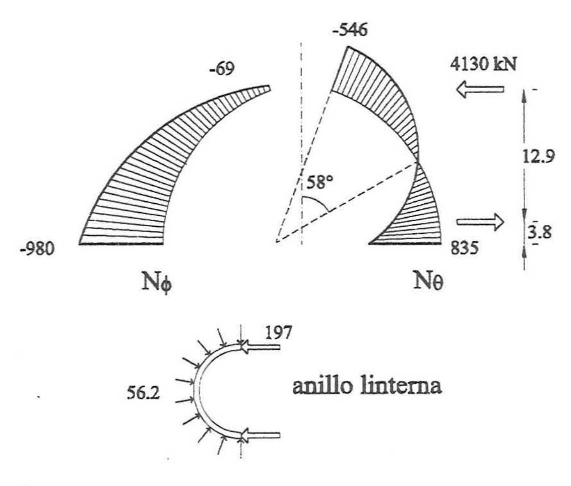
ANSYS 5.3
MAY 13 1999
15:33:27
POST1
STEP=1
SUB =8
TIME=1
PATH PLOT
NOD1=85
NOD2=105

ZV =1
DIST=.75
XF =.5
YF =.5
ZF =.5
Z-BUFFER

N_z
N_y
N_y+N_z
$N\theta$
NTOTYJU
DIST

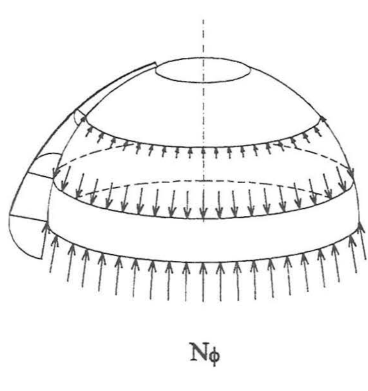
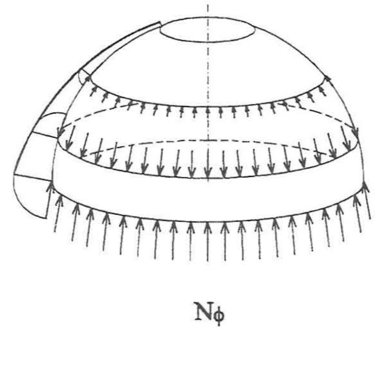
SAN PEDRO

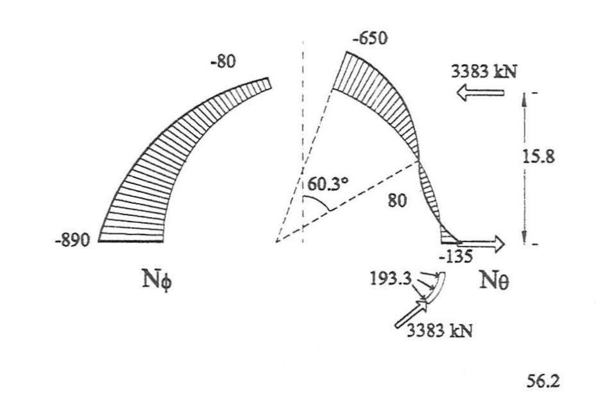
GRAFICAS TOTALES DE: N fi, N teta, N tangencial y (N fi+ N tang)



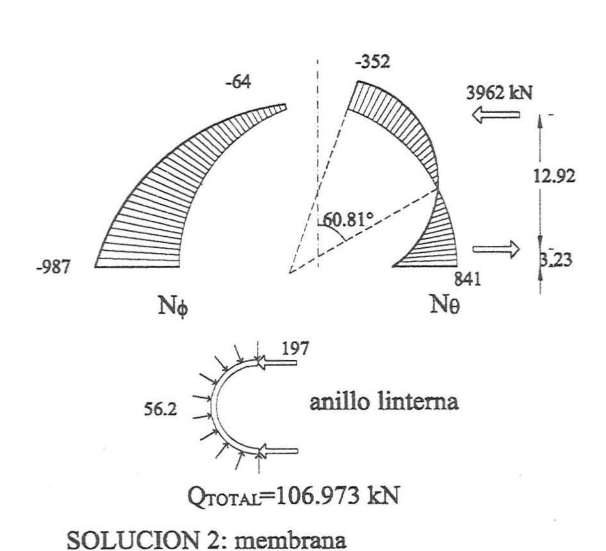
Q_{TOTAL}=107.602 kN

SOLUCION 1: membrana



SOLUCION 3:MODO 1 ANSYS
sin apertura en la base

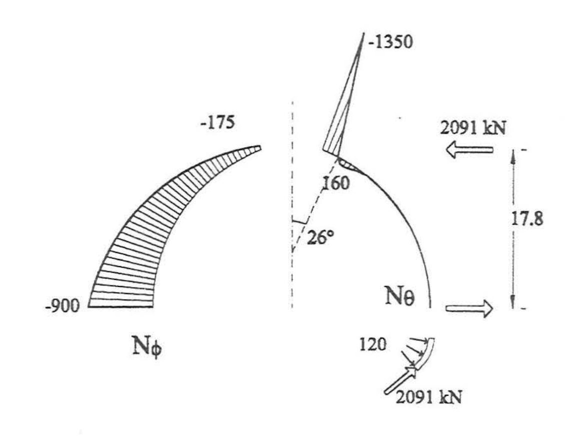


Q_{TOTAL}=106.973 kN

SOLUCION 2: membrana

Nθ

y anillos si los hay



SOLUCION 3b: MODO 2 ANSYS
apertura radial en la base 1cm

320 kN
13
15
2kN
2kN
12
27
(13)
(16)
SECCIÓN
30
30
12.0 m
E = 10 kN/mm²
f = 12 N/mm²
1
16
(1)
(28)
3.0 m
5.0 m

```
!PREPROCESADO, ENTRADA DE DATOS
/prep7
/window,1,full
/view,1,0,0,1
/vup,1,y
/title,CANALIZACION DE AGUA

!TIPO DE ELEMENTO
et,1,4          ! BEAM4, admite grandes deformaciones
                ! para analisis de 2§ orden
r,1,300*300,300*300*300*300/12,81e8/12,300,300
                ! AREA [mm2], Izz [mm4], Iyy [mm4],
                ! Tkz [mm], Tky [mm]
                ! toma como inercia a torsi¢n la suma Izz+Iyy

!MATERIAL madera
mp,ex,1,10
mp,dens,0       ! no considera el peso propio

!NODOS
n,1,0,0
n,13,1000,12000
n,16,4000,12000
n,28,5000,0
fill,1,13       ! genera una línea de nudos entre el 1 y el 13
fill,13,16
fill,16,28

!ELEMENTOS
type,1
real,1
e,1,2
egen,12,1,1,1,1
                ! generacion de elementos
                ! 12 elementos generados (incluido el original),
                ! incrementando la numeraci¢n de los nodos en 1,
                ! copiando del 1 al 1, tomados de 1 en uno
e,13,14
egen,3,1,13,13,1
e,28,27
egen,12,-1,16,16,1
/pnum,node,1
/pnum,elem,1
eplot

!CARGAS
f,13,fx,2       ! carga puntual en nodo 13, eje x, valor 2 [kN]
f,13,fy,-160
f,16,fx,2
f,16,fy,-160
/pbc,all,1

!CONDICIONES DE APOYO
nsel,s,loc,y,0
d,all,ux,0   ! articulaciones en los apoyos
d,all,uy,0
nsel,all
d,all,uz,0   ! sin desplazamiento en Z, estructura arriostrada

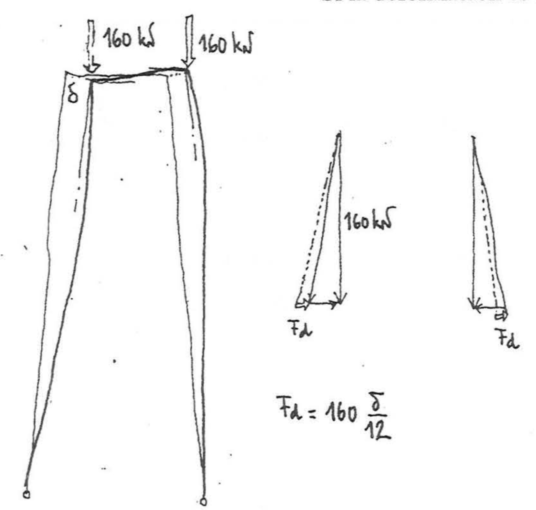
!SALVAR Y SALIR
save
finish       ! salir del preprocesador

!RESOLUCION
             ! por la fuerte carga que soporta y su limitada rigidez,
             ! debera analizarse a estabilidad.
             ! Para estudiar la estabilidad hacemos un analisis
             ! no lineal que llega al equilibrio cuando
             ! en un proceso iterativo se converge.
             ! La carga se introduce en 20 pasos.
/solution
antype,static
nlgeom,on      ! activa la no linealidad geometrica,
                 ! considera la posicion deformada de la estructura
outres,all,all ! controla que la solución se escriba en la base de
datos
                 ! (all) todos los casos de solución
                 ! (all) todos los saltos de carga
neqit,50     ! nº máximo de iteraciones de equilibrio= 50
nsubst,20    ! 20 pasos de carga
solve
finish
```

CONJETURAS

1.- FUERZA DESESTABILIZADORA

Si la deformación es δ



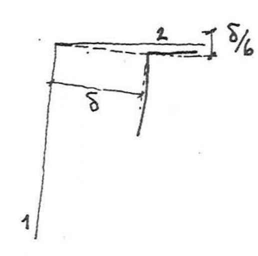
2.- FUERZA ESTABILIZADORA

Deformamos el pórtico la misma δ para ver la fuerza generada por su rigidez.

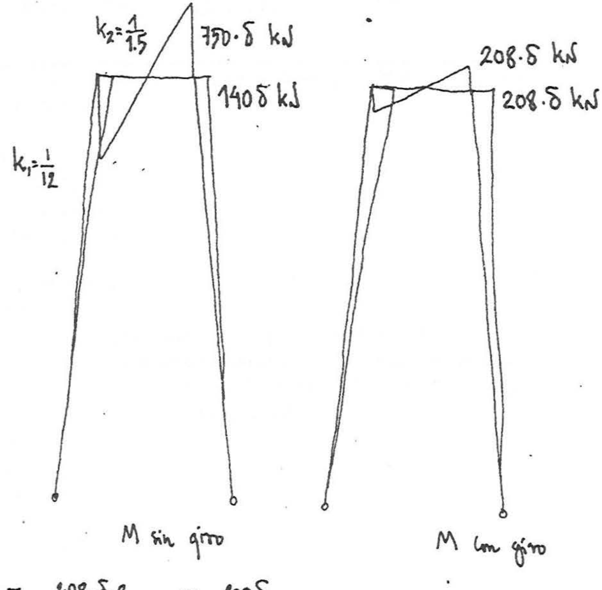
$EI = 6750$ kN.m^2

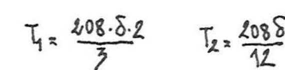
$M_1 = 3\,EI\,\frac{1}{12^2}\delta = 140\,\delta$

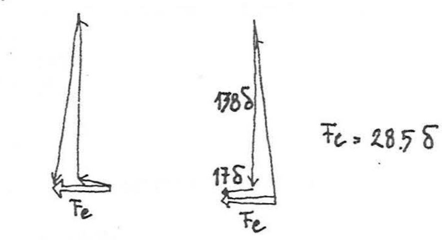
$M_2 = 6\,EI\,\frac{1}{3^2}\frac{\delta}{6} = 750\,\delta$



Diagramas de momentos inicial sin giro y con giro en los nudos







3.- CARGA CRÍTICA Y AMPLIFICACIÓN

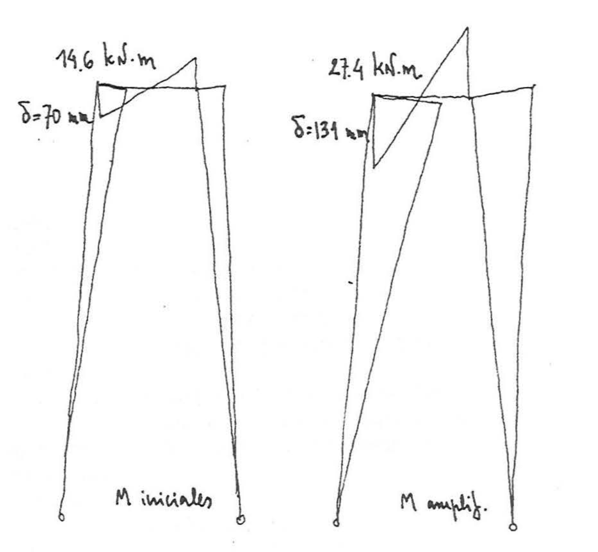
$N_k\frac{\delta}{12} = 28{,}5\;\delta$; $N_k = 342$ kN (TOTAL 684)

factor amplificación:

$$a = \frac{1}{1-\frac{160}{342}} = 1{,}88$$

4.- MOMENTOS Y COMPROBACIÓN

La carga crítica de 2 kN producirá el diagrama: en 1[er] orden en 2º orden



las tensiones serán:

$\sigma_1 = \frac{27{,}4 \cdot 1000}{0{,}3 \cdot 300 \cdot 300/6} = 6{,}07$ N/mm^2 flexión

$\sigma'_1 = \frac{160 \cdot 1000}{300 \cdot 300} = 1{,}8$ N/mm^2 compresión

$\sigma_{TOTAL} = 7{,}87$ N/mm^2

Coeficiente de seguridad de la estructura: 12/7,87 = 1,52

```
!SALIDA DE RESULTADOS
/post1
 ! Tablas de valores
set,1                    ! último paso de carga
etable,n1,smisc,1              ! axiles en el nodo i
etable,n2,smisc,7              ! axiles en el nodo j
etable,t1,smisc,2             ! cortantes en el nodo i
etable,t2,smisc,8             ! cortantes en el nodo j
etable,m1,smisc,6              ! momentos en el nodo i
etable,m2,smisc,12         ! momentos en el nodo j
smult,ma,m1,,-.001      ! cambio de unidades a [kN.m]
smult,mb,m2,,-.001
 !Graficos
pldisp,1        ! muestra la estructura deformada
                        ! y la original de referencia (1)
*ask,p,¿sigo (gráfica de axiles)?
plls,n1,n2      ! gráfica axiles [kN]
*ask,p,¿sigo (gráfica de cortantes)?
plls,t1,t2      ! gráfica cortantes [kN]
*ask,p,¿sigo (gráfica de momentos)?
plls,ma,mb      ! gráfica momentos [kN.m]
 !Imprimir resultados
prdisp  ! imprime los desplazamientos
pretab,n1,n2,t1,t2,ma,mb
                ! imprime los valores de las tablas relacionadas
prrsol,f        ! imprime las reacciones en los nudos (f): fuerzas
presol,f        ! imprime las reacciones por elementos
                        ! (f): suma de las fuerzas nodales
*ask,p,¿sigo (evolución de gráfica de momentos)?
*do,ciclo,1,20
!*ask,p,¿sigo?
set,1,ciclo
etable,m1,smisc,6
etable,m2,smisc,12
smult,ma,m1,,-.001      ! cambio de unidades a [kN.m]
smult,mb,m2,,-.001
/contour,1,9,-40,,40
*get,escala1,elem,12,smisc,12
*set,esc1,((2)*escala1/(40000))
plls,ma,mb,esc1
*enddo
!finish

/post26        ! entra en el posp. 26 (time-history)
nsol,2,13,u,x,desp-hor  !define var 2 como ux nodo 13
plvar,2        !gráfica ux nodo 13 en el proceso de carga
finish
```

ESFUERZOS Y DEFORMACIONES

Primer orden

7,85 — 3,5
70 mm — 70 mm
14,4 — 14,4

MA MB
MAX =14.38
ELEM=15
-14.42
-11.22
-8.02
-4.82
-1.62
1.58
4.78
7.98
11.18
14.38

Segundo orden

25 — 13,4
236 mm. — 235,7
39 — 35,4

MA MB
MAX =35.463
ELEM=15
-39.353
-31.04
-22.727
-14.414
-6.101
2.211
10.524
18.837
27.15
35.463

EQUILIBRIO EN NUDOS

Primer orden

160 kN, 2, 13,3, 9,6, 11,3, 150,4, 2 kN, 15,3, 169,6, 11,3, 150,4

Coordenadas x, y

Segundo orden

160 kN, 2, 12,7, 24,7, 14,7, 135,3, 2 kN, 184,7, 14,7, 135,3

Coordenadas x, y

GRAFICA CARGA-DEFORMACION

Q
100%
50%
53,2 mm.
236 mm.
TIME
ux



```
!PREPROCESADO, ENTRADA DE DATOS
! búsqueda iterativa de la forma de una lámina
/prep7
/window,1,full
/view,1,2,-3,5
/vup,1,z
/title, PLACA CUADRADA

!TIPO DE ELEMENTO
et,1,63        ! elemento tipo shell63, plano de 4 nodos
r,1,7          ! espesor [cm]

!MATERIAL hormigón
mp,ex,1,2.1e3       ! modulo de elasticidad [kN/cm2]
mp,nuxy,1,.1        ! coef. de poisson
mp,dens,1,2.5e-5    ! densidad [kN/cm3]

!DEFINICIONES
nn=11*11            ! numero de nudos
nciclos=20          ! numero de ciclos
! matrices para las coordenadas de los nudos
*dim,x,array,nn     ! define la matriz x de nn
*dim,y,array,nn     ! define la matriz y de nn
*dim,z,array,nn     ! define la matriz z de nn
! matrices para los desplazamientos de los nudos
*dim,d1,array,nciclos+1
*dim,d2,array,nciclos+1
*dim,d3,array,nciclos+1

!GEOMETRIA
n,1,0,0,0          ! define el nodo 1 de coordenadas (0,0,0)cm
n,11,3000,0,0      ! define el nodo 10 de coordenadas (3000,0,0)cm
fill,1,11          ! genera una línea de nodos  entre 1 y 10
ngen,11,11,1,11,1,0,300,0,0
                   ! ngen: genera nodos según un patrón:
                   ! 11 conjuntos de nodos(incluido el original),
                   ! incrementando la numeración en 11,
                   ! copiando del nodo 1 al 11 tomados cada 1,
                   ! incrementando X en 0, Y en 333.3cm y Z en 0
nplot              ! dibuja los nodos en pantalla

!GUARDA COORDENADAS INICIALES
*do,n,1,nn,1       ! bucle de n=1 hasta nn, incremento de 1
 x(n)=nx(n)        ! las funciones nx(n), ny(n), nz(n),
 y(n)=ny(n)          ! devuelven las coordenadas x, y, z del nodo n
 z(n)=nz(n)
*enddo
```

```
!GENERACION DE ELEMENTOS
type,1
real,1
e,1,2,13
e,1,13,12
egen,5,1,1,2,1
               ! generación 5 conjuntos de elementos
               ! (incluido el original), incrementando la
               ! numeración de los nodos en 1,
               ! copiando del 1 al 2, tomados de 1 en uno
egen,5,11,1,10,1
egen,2,60,1,50,1
e,6,7,17
e,7,18,17
egen,5,1,101,102,1
egen,5,11,101,110,1
egen,2,50,101,150,1
/pnum,node,0   ! desactiva la numeración de los nodos
/pnum,elem,1   ! activa la numeración de elementos
eplot          ! dibuja elementos

! CONDICIONES DE APOYO
/pbc,u,1       ! activa los símbolos de coacciones
               ! a desplazamiento
nsel,s,node,,1
nsel,a,node,,11
nsel,a,node,,111
nsel,a,node,,121
d,all,uz,0
d,all,ux,0
d,all,uy,0
nsel,all

!CARGAS
acel,0,0,-1    ! asigna una aceleración -1 en el sentido del eje Z
               ! se pone la carga hacia arriba para ver la lamina
               ! invertida
eplot

!SALVAR Y SALIR
save
finish         ! salir del preprocesador

!BUSQUEDA DE LA FORMA: PROCESO ITERATIVO
/input,busqueda,dat
```

```
!NCOOR.DAT
!ASIGNA LAS COORDENADAS DE LOS NUDOS
*do,i,1,nn,1          ! bucle de i=1 hasta numero de nodos,
                      ! incrementándolo en 1
 n,i,x(i),y(i),z(i)   ! define las coordenadas de los nodos
*enddo                ! fin del bucle

! CAMBIO.DAT: CAMBIO DE COORDENADAS
              ! cambia los valores de las matrices x, y, z, sumando al
              ! valor existente el desplazamiento * factor de escala.
              ! las funciones ux(n), uy(n), uz(n)
              ! devuelven los desplazamientos del nodo n
*do,n,1,nn,1          ! bucle de n=1 hasta nn, incremento de 1
 x(n)=x(n)+fe*ux(n)
 y(n)=y(n)+fe*uy(n)
 z(n)=z(n)+fe*uz(n)
*enddo

! BUSQUEDA.DAT PROCESO DE BUSQUEDA DE LA FORMA
! 1ª ITERACION SOLUCION Y CAMBIO DE COORDENADAS
/solution
solve                 ! ordena resolver el sistema
finish                ! salir del procesador
fe=.2                 ! factor de escala
/input,cambio,dat     ! cambia los valores de las matrices x, y, z
/prep7
/input,ncoor,dat      ! lee el fichero ncoor.dat
                      ! que asigna las coordenadas de los nudos
/pnum,node,0          ! activa la numeración de nodos
eplot                 ! dibuja los nodos en pantalla
finish

!ITERACIONES SIGUIENTES:
!ncilcos SOLUCIONES Y CAMBIOS
fe=.5                         ! factor de escala
*do,nc,1,nciclos,1
          /solution
          solve               ! ordena resolver el sistema
          finish              ! salir del procesador
          d1(nc)=uz(61)       ! guarda la deformación del nodo 61
          d2(nc)=uz(6)        ! guarda la deformación del nodo 6
          d3(nc)=uz(3)        ! guarda la deformación del nodo 3
          /input,cambio,dat   ! cambia las matrices x, y, z
          /prep7
          /input,ncoor,dat    ! lee el fichero ncoor.dat
          eplot               ! dibuja los elementos en pantalla
          finish
*enddo
```

```
 !ANALISIS DE LA ESTRUCTURA RESULTANTE !
/solution
solve          ! ordena resolver el sistema
finish         ! salir del procesador
d1(nciclos+1)=uz(61)        ! guarda la deformación del nodo 61
d2(nciclos+1)=uz(6)         ! guarda la deformación del nodo 6
d3(nciclos+1)=uz(3)         ! guarda la deformación del nodo 3

 !POSTPROCESADOR
 !SALIDA E INTERPRETACION DE RESULTADOS
 !ESTRUCTURA 1
/post1
shell,bot          ! especifica la localización en que se dan los
                   ! resultados de tensiones en el elemento laminar
                   ! opciones: (top) cara superior,(mid) medio
                   ! (bot) cara inferior
etable,sxx,s,x     ! prepara la tabla denominada sxx
                   ! con las tensiones (s), componente X
                   ! estas tensiones están en coordenadas globales
etable,syy,s,y
etable,sxy,s,xy
etable,s1,s,1      ! prepara la tabla denominada s1
                   ! con las tensiones (s), componente 1
                   ! tensión principal
etable,s2,s,2
set,1,1

 !graficas
/pbc,u,1           ! pone los símbolos de las coacciones a
                   ! desplazamientos (u), en activo(1)
/dscale,1          ¡ escala de la representación de la deformada
                   ¡ en pantalla
pldisp,2           ! muestra la estructura deformada
                   ! y el contorno de la original (2)
pletab,sxx,avg     ! gráfica de los datos de la tabla sxx,
                   ! (avg): tomando en el interior del elemento un
                   ! valor como promedio lineal
pletab,syy,avg
pletab,sxy,avg
pletab,s1,avg      ! gráfica de los datos de la tabla s1,
                   ! (avg): tomando en el interior del elemento un
                   ! valor como promedio lineal
pletab,s2,avg
/vscale,1,3        ! escala la representación de vectores en pantalla
plvect,s,.....,on  ! gráfica de las tensiones principales como vector
```

```
 !imprimir
pretab,s1,s2       ! imprime los datos de las tablas
                   ! s1, s2  [kN/cm2]
prrsol,f           ! imprime las reacciones en los nudos, (f) [kN]
prnsol,u           ! imprime desplazamientos (u) en los nodos [cm]
*status,d1         ¡ imprime los valores de la matriz d1 donde se
                   ¡ guardan las deformaciones del nodo 61
*status,d2         ¡ ídem nodo 6
*status,d3         ¡ ídem nodo 3
finish
```

3 6 30 m 30m

cm

DEFORMACION EN LOS NODOS SELECCIONADOS

d2 d1 d3

Iteraciones

deformación

TENSIONES PRINCIPALES: S1 [kN/cm²]

S1 (AVG)
BOTTOM
DMX =.34381
SMN =-.133E-11
SMX =.286951

-.133E-11
.031883
.063767
.09565
.127534
.159417
.191301
.223184
.255068
.286951

TENSIONES PRINCIPALES: S2 [kN/cm²]

S2 (AVG)
BOTTOM
DMX =.34381
SMN =-.006117
SMX =.02598

-.006117
-.00255
.001016
.004582
.008148
.011715
.015281
.018847
.022414

```
!PREPROCESADO. ENTRADA DE DATOS
! TODOS LOS ELEMENTOS SON CUADRANGULARES
/prep7          ! entra en el preprocesador
/window,1,full
/view,1,2,-3,5
/vup,1,z
/title, PLACA CUADRADA

!TIPO DE ELEMENTO
et,1,63              ! elemento tipo shell63,
                     ! plano de 4 nodos
r,1,7                ! espesor [cm]

!MATERIAL hormigón
mp,ex,1,2.1e3        ! modulo de elasticidad [kN/cm2]
mp,nuxy,1,.1         ! coef. de poisson
mp,dens,1,2.5e-5     ! densidad [kN/cm3]

!GEOMETRIA
n,1,0,0,0            ! define el nodo 1 de coordenadas (0,0,0)cm
n,11,3000,0,0        ! define el nodo 10 de coordenadas (3000,0,0)cm
fill,1,11            ! genera una linea de nodos entre 1 y 10
ngen,11,11,1,11,1,0,300,0,0
                     ! ngen: genera nodos seg£n un patron:
                     ! 11 conjuntos de nodos(incluido el original),
                     ! incrementando la numeración en 11,
                     ! copiando del nodo 1 al 11 tomados cada 1,
                     ! incrementando X en 0, Y en 333.3cm y Z en 0
nplot                ! dibuja los nodos en pantalla

!DEFINICIONES
nn=11*11
*dim,x,array,nn      ! define la matriz x de nn
*dim,y,array,nn      ! define la matriz y de nn
*dim,z,array,nn      ! define la matriz z de nn

!GUARDA COORDENADAS
*do,n,1,nn,1         ! bucle de n=1 hasta nn, incremento de 1
 x(n)=nx(n)
 y(n)=ny(n)
 z(n)=nz(n)
*enddo

!generacion de elementos
type,1
real,1
e,1,2,13
e,1,13,12
egen,5,1,1,2,1
                     ! generación 5 conjuntos de elementos
                     ! (incluido el original), incrementando la
                     ! numeración de los nodos en 1,
                     ! copiando del 1 al 2, tomados de 1 en uno
egen,5,11,1,10,1
egen,2,60,1,50,1
e,6,7,17
e,7,18,17
egen,5,1,101,102,1
egen,5,11,101,110,1
egen,2,50,101,150,1
/pnum,node,0         ! desactiva la numeración de los nodos
/pnum,elem,1         ! activa la numeración de elementos
eplot                ! dibuja elementos

! CONDICIONES DE APOYO
/pbc,u,1             ! muestra los símbolos de coacciones
                     ¡ a desplazamiento
nsel,s,node,,1
nsel,a,node,,11
nsel,a,node,,111
nsel,a,node,,121
d,all,uz,0
d,all,ux,0
d,all,uy,0
nsel,all

!CARGAS
acel,0,0,-1          ! asigna una aceleración -.1 en el sentido del eje Z
                     ! se pone la carga hacia arriba para ver la lamina
                     ! invertida
eplot

!SALVAR Y SALIR
save
finish               ! salir del preprocesador

! GUARDA LAS COORDENADAS SOLUCION 0: INICIAL
*dim,x0,array,nn     ! define la matriz x0 de nn
*dim,y0,array,nn     ! define la matriz y0 de nn
*dim,z0,array,nn     ! define la matriz z0 de nn

*do,n,1,nn,1         ! bucle de n=1 hasta nn, incremento de 1
 x0(n)=x(n)
 y0(n)=y(n)
 z0(n)=z(n)
*enddo
!ANALISIS 1
/solution            ! entra en el procesador de solución
solve                ! ordena resolver el sistema
finish               ! salir del procesador

!VER DEFORMADA
/post1               ! entra en el postprocesador
/dscale,1,,2         ! escala la representación de la deformada
pldisp,2             ! muestra la estructura deformada
finish

!GUARDA DEFORMADA 1
*dim,x1,array,nn     ! define la matriz x1 de nn
*dim,y1,array,nn     ! define la matriz y1 de nn
*dim,z1,array,nn     ! define la matriz z1 de nn
fe=.2                ! factor de escala
*do,n,1,nn,1         ! bucle de n=1 hasta nn, incremento de 1
 x1(n)=x(n)+fe*ux(n)
 y1(n)=y(n)+fe*uy(n)
 z1(n)=z(n)+fe*uz(n)
*enddo

!MATERIAL hormigon ligero
/prep7               ! entra en el preprocesador
/pnum,node,1         ! activa la numeración de los nodos
nplot                ! dibuja los nodos
mp,ex,2,2.1e3        ! modulo de elasticidad [kN/cm2]
mp,nuxy,2,.1         ! coef. de poisson
mp,dens,2,0.0        ! densidad [kN/cm3] sin peso propio

! ELEMENTOS NUEVOS: BARRAS
et,2,4               ! elemento tipo 2 BEAM4
r,2,900,2.7e7,2.7e7,1,1
                     ! constantes para la sección 2: AREA [cm2]
                     ! Izz [cm4], Iyy [cm4], Tkz [cm], Tky [cm]
                     ! toma como inercia a torsión la suma Izz+Iyy
!generacion de elementos
mat,2                ! asigna el material 2 a los siguientes elementos
type,2               ! asigna el elemento tipo 2 a los siguientes
                     ¡ elementos
real,2               ! asigna las constantes 2 a los siguientes elementos
e,1,13               ! define el elemento 1 que va del nodo 1 al 17
```

```
egen,10,12,201,201,1
                    ! generación de 10 conjuntos de elementos,
                    ! incrementando los nodos en 12,
                    ! tomando del elemnto 201 al 201 cada 1
e,11,21
egen,10,10,211,211,1
eplot
 !SALVAR Y SALIR
save
finish              ! salir del preprocesador

 !ANALISIS 2
/solution
solve               ! ordena resolver el sistema
finish              ! salir del procesador

 !VER DEFORMADA
/post1
/dscale,1,4         ! escala la representación de la deformada
pldisp,2            ! muestra la estructura deformada
finish

 !GUARDA DEFORMADA 2
*dim,x2,array,nn    ! define la matriz x1 de nn
*dim,y2,array,nn    ! define la matriz y1 de nn
*dim,z2,array,nn    ! define la matriz z1 de nn
fe=1                ! factor de escala
*do,n,1,nn,1        ! bucle de n=1 hasta nn, incremento de 1
 x2(n)=x(n)+fe*ux(n)
 y2(n)=y(n)+fe*uy(n)
 z2(n)=z(n)+fe*uz(n)
*enddo

 ! ELIMINA ELEMENTOS BARRA
/prep7
eplot
edele,201,220,1

 ! COMBINA LAS COORDENADAS SOLUCION 1 Y 2
fe1=.5              ! factor de escala caso 1
fe2=2               ! factor de escala caso 2

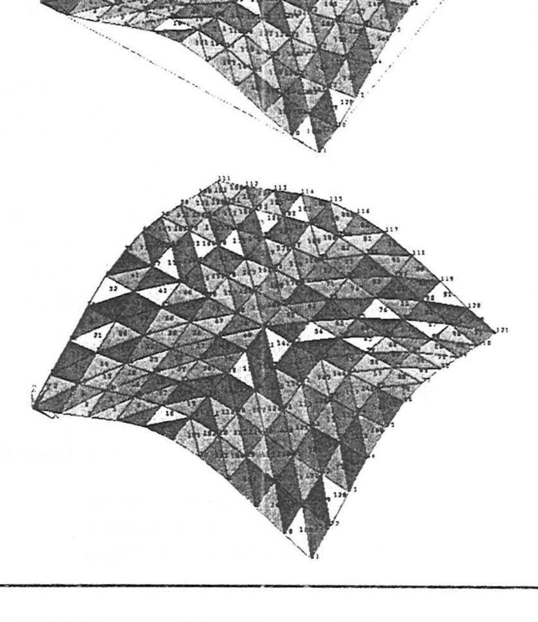
*do,n,1,nn,1        ! bucle de n=1 hasta nn, incremento de 1
 z(n)=z1(n)*fe1+z2(n)*fe2
*enddo
```

```
 !ASIGNA LAS COORDENADAS DE LOS NUDOS
*do,i,1,nn,1        ! bucle de i=1 hasta numero de nodos,
                    ! incrementandolo en 1
 n,i,x(i),y(i),z(i) ! define las coordenadas de los nodos
*enddo              ! fin del bucle
eplot
finish              ! salir de preprocesador

 !ANALISIS DE LA ESTRUCTURA RESULTANTE 3
/solution
solve               ! ordena resolver el sistema
finish              ! salir del procesador

 !POSTPROCESADOR
 !SALIDA E INTERPRETACION DE RESULTADOS
 !ESTRUCTURA 1
/post1
shell,top           ! especifica la localizacion en que se dan los
                    ! resultados de tensiones en el elemento laminar
                    ! opciones: (top) cara superior,(mid) medio
                    ! (bot) cara inferior
etable,s1,s,1       ! prepara la tabla denominada s1
                    ! con las tensiones (s), componente 1
                    ! tension principal
etable,s2,s,2
set,1,1

 !graficas
/pbc,u,1            ! pone los simbolos de las coacciones a
                    ! desplazamientos (u), en activo(1)
/dscale,1
pldisp,2            ! muestra la estructura deformada
                    ! y el contorno de la original (2)
pletab,s1,avg ! gráfica de los datos de la tabla s1,
                    ! (avg): tomando en el interior del elemento un
                    ! valor como promedio lineal
pletab,s2,avg
 !imprimir
pretab,s1,s2        ! imprime los datos de las tablas
                    ! s1, s2  [kN/cm2]
prdisp              ! imprime los valores de la deformacion
prrsol,f            ! imprime las reacciones en los nudos, (f) [kN]
finish
```



CUADERNO

66.01

CATÁLOGO Y PEDIDOS EN

http://www.aq.upm.es/of/jherrera

jherrera@aq.upm.es

